



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROJECTE FI DE CARRERA

**TÍTOL:** Micro-planta de generació eòlica

**AUTORS:** David Díaz González i Álvaro Díaz Sánchez

**PROJECTE FINAL DE CARRERA DE:** Enginyeria Tècnica

Industrial especialitat Electricitat

**EPSEVG**

**DIRECTOR:** Josep Font i Mateu

**DEPARTAMENT:** Enginyeria Elèctrica

**DATA:** juny de 2012

# PROJECTE FI DE CARRERA

## RESUM

L'objectiu proposat es desenvolupar el projecte, com si es tractes d'un encàrrec de claus en mà, en el que s'implantés un aerogenerador aïllat, que subministres energia a la xarxa, justificant les carregues properes de la zona i amb tota la instal·lació necessària per injectar aquesta energia en una línia determinada anomenada coll de la barraca. Com a objectiu també ens proposem fer els estudis, tant de viabilitat tècnica com econòmica per comprovar si es rentable la instal·lació d'aquets tipus de micro-centrals tant petites, en comptes de la dinàmica actual de massificar tota la producció de energia eòlica en grans parcs i en zones determinades a aquestes explotacions.

En el desenvolupament d'aquest projecte ens vem proposar buscar la millor opció d'implantació d'una micro-central eòlica, amb l'objectiu de complir amb els objectius europeus. Posteriorment a la recerca, es va procedir a fer, el estudi dels vents i obtenció de dades, la selecció de l'emplaçament, la justificació de càrregues, la selecció de l'aerogenerador mes adient, la memòria tècnica de la instal·lació de l'aerogenerador juntament amb la de la instal·lació, el plec de condicions, els pressupostos, la normativa actual de condicions de connexió i desconnexió a la xarxa, els estudis de viabilitat tècnica i econòmica, simulacions, les condicions de seguretat i salut, una guide de interface d'usuari i els càlculs justificatius.

### Paraules clau (màxim 10):

Energia Renovable	Turbina eòlica	Injecció	Regulació
Màquina d'inducció	Transformador	Simulacions	Projecte tècnic
Medi ambient	Guide		

## RESUM

L'objectiu proposat es desenvolupar la implantació d'un aerogenerador aïllat, que subministri energia a la xarxa, justificant les carregues properes de la zona i amb tota la instal·lació necessària per injectar aquesta energia en una línia determinada anomenada coll de la barraca. Com a objectiu també ens proposem fer els estudis, tant de viabilitat tècnica com econòmica per comprovar si es rentable la instal·lació d'aquets tipus de micro-centrals tant petites, en comptes de la dinàmica actual de massificar tota la producció de energia eòlica en grans parcs i en zones determinades a aquestes explotacions.

## ABSTRACT

The aim is to develop the proposed introduction of a single wind turbine, which supplies energy to the grid, justifying the charges coming from the area and all necessary installation to inject this energy into a particular line called neck of the hut. Objective, we intend to do the studies, both technical and economical feasibility is worthwhile to check the installation of this kind of micro-power so small, instead of the current dynamics of Broadening the entire production of wind energy in parks and in certain areas such holdings.

## Índex

<b>RESUM .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDEX.....</b>	<b>2</b>
<b>GLOSSARI .....</b>	<b>14</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>20</b>
1.1. OBJECTIUS DEL PROJECTE.....	20
1.2. ABAST DEL PROJECTE .....	21
<b>2. RECURS EÒLIC .....</b>	<b>21</b>
2.1. TIPUS DE VENTS: GLOBALS, GEOSTRÒFICS I LOCALS .....	21
2.2. GRADIENT DE PRESSIÓ I FORÇA DE CORIOLIS .....	23
2.3. TURBULENCIES .....	26
2.4. VALORS EXTREMS .....	28
2.5. ALTRES EFECTE.....	29
2.5.1. Efecte del parc .....	29
2.5.2. Efecte túnel.....	29
2.5.3. Efecte muntanya .....	29
2.6. VALOR MIG DE LA VELOCITAT DEL VENT .....	30
2.7. DISTRIBUCIÓ DE WEIBULL.....	30
2.7.1. Mètode gràfic.....	31
2.7.2. Mètode analític .....	31
2.8. ROSA DELS VENTS .....	32
2.9. VARIACIÓ DE LA VELOCITAT DEL VENT AMB L' ALÇADA .....	33
2.10. ANEMOMETRIA.....	34
2.11. DADES METEOROLÒGIQUES DE LA ZONA .....	34
<b>3. SELECCIÓ DE L'EMPLAÇAMENT .....</b>	<b>37</b>
3.1. INTRODUCCIÓ.....	37
3.2. FACTORS QUE AFECTEN AL FUNCIONAMENT DELS SISTEMES EÒLICS .....	37
3.3. CRITERIS BÀSICS .....	38
3.4. INFORMACIÓ NECESSÀRIA PER A LA SELECCIÓ DE L'EMPLAÇAMENT .....	39
3.5. ASPECTES PARTICULARS EN LA SELECCIÓ D'EMPLAÇAMENTS .....	40



<b>4. L'AEROGENERADOR .....</b>	<b>40</b>
4.1. INTRODUCCIÓ.....	40
4.2. CLASSIFICACIONS.....	40
4.3. SEGONS L'EIX.....	40
4.4. ORIENTACIÓ DELS AEROGENERADORS.....	44
4.5. COMPONENTS BÀSICS D'UN AEROGENERADOR.....	47
<b>5. LLEI DE BETZ.....</b>	<b>54</b>
5.1. INTRODUCCIÓ.....	54
5.2. LLEI DE BETZ. ....	55
5.3. DEMOSTRACIÓ .....	56
<b>6. OBJECTE DEL ESTUDI.....</b>	<b>59</b>
<b>7. DADES RECOLIDES.....</b>	<b>59</b>
<b>8. PROCESSAMENT DE DADES.....</b>	<b>59</b>
<b>9. APARELLATGE UTILITZAT.....</b>	<b>64</b>
<b>10. MEMÒRIA TÈCNICA.....</b>	<b>77</b>
10.1. TITULAR DE LA PETICIÓ.....	77
10.2. DOMICILI SOCIAL DE NOTIFICACIONS.....	77
10.3. POTÈNCIA MÀXIMA ADMISSIBLE A AUTORITZAR I CONTRACTAR.....	77
10.4. PRESSUPOST TOTAL.....	78
10.5. JUSTIFICACIÓ.....	78
10.6. ANTECEDENTS.....	78
10.7. NORMATIVES I DISPOSICIONS.....	78
10.7.1. Normativa de la producció en règim especial.....	78
10.7.2. Normativa ambiental.....	78

10.8. DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ.....	81
10.8.1. Característiques bàsiques.....	81
10.8.2. Ús i destí.....	82
10.9. DEFINICIÓ DE LES PRESTACIONS.....	82
10.10. ESTUDI PREVI A LA SELECCIÓ DE LA POTÈNCIA.....	82
10.10.1. Estudi energètic d'un habitatge tipus.....	82
10.11. ELECCIÓ DEL AEROGENERADOR.....	86
10.12. CARACTERÍSTIQUES DEL AEROGENERADOR.....	89
10.12.1. Manteniment del aerogenerador.....	90
10.12.2. Camins interns i plataforma de muntatge dels aerogeneradors.....	93
<b>11. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA DEL PROJECTE.....</b>	<b>94</b>
11.1. DADES GENERALS DEL PROJECTE.....	94
11.2. OBJECTE DEL PROJECTE.....	94
11.12.1. Normativa, reglamentació i disposicions oficials.....	99
11.3. PUNT ON S'EVACUA L'ENERGIA I PREVISIÓ DE POTÈNCIA.....	95
11.4. OBRES A REALITZAR.....	96
11.5. CARACTERÍSTIQUES GENERALS DEL CENTRE DE TRANSFORMACIÓ.....	96
11.5.1. Edifici prefabricat.....	97
11.5.2. Cel·les de MT.....	100

11.5.3.	Transformador.....	108
11.5.4.	Quadre de BT.....	109
11.5.5.	Interconnexions de MT amb cable.....	110
11.5.6.	Interconnexions trafo quadre BT.....	111
11.5.7.	Instal·lacions de posada a terra.....	111
11.5.8.	Instal·lacions auxiliars.....	114
11.5.9.	Equip de mesura en BT.....	115
<b>12.</b>	<b>RESUM DEL PROJECTE.....</b>	<b>119</b>
<b>13.</b>	<b>INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>121</b>
<b>14.</b>	<b>PROCEDIMENT.....</b>	<b>121</b>
<b>15.</b>	<b>PROBLEMES A LA INTERCONNEXIÓ A LA XARXA.....</b>	<b>122</b>
15.1.	ARRANCA DEL AEROGENERADOR.....	122
15.2.	QUALITAT DE LA ONA ELÈCTRICA GENERADA.....	123
<b>16.</b>	<b>COMPORTAMENT DEL AEROGENERADOR EN FORATS DE TENSÍO.....</b>	<b>123</b>
<b>17.</b>	<b>PROCEDIMENT D'OPERACIÓ ENFRONT FORATS DE TENSÍO.....</b>	<b>124</b>
<b>18.</b>	<b>CÀLCULS JUSTIFICATIUS.....</b>	<b>127</b>
18.1.	CÀLCUL DEL ESTUDI EÒLIC.....	127
18.1.1.	Càlcul de la potencia del vent.....	127
18.2.	CÀLCUL DE LA DISTRIBUCIÓ DE PROBABILITATS.....	132

18.2.1.	Taula de probabilitats.....	132
18.2.2.	Probabilitat de funcionament.....	135
18.2.3.	Àrea interceptada pel vent.....	135
18.2.4.	Energia produïda.....	136
18.2.5.	Producció eòlica anual.....	136
18.3.	CÀLCULS MECÀNICS.....	137
18.3.1.	Aerogenerador.....	137
<b>19.</b>	<b>CÀLCULS ELÈCTRICS.....</b>	<b>142</b>
19.1.	JUSTIFICACIÓ DELS CONDUCTORS D'ALTA TENSIÓ.....	142
19.2.	CÀLCUL DE LA INTENSITAT NOMINAL DE LA INSTAL·LACIÓ.....	142
19.3.	CÀLCUL DE LA INTENSITAT PERMANENT DE CURTCIRCUIT.....	142
19.4.	CÀLCUL DE LA SECCIÓ MÍNIMA.....	142
19.5.	COMPROVACIÓ DEL CABLE ESCOLLIT.....	143
19.6.	JUSTIFICACIÓ DELS CONDUCTORS DE BAIXA TENSIÓ.....	144
19.6.1.	Càlcul de la intensitat nominal de la instal·lació.....	144
19.6.2.	Càlcul de la intensitat permanent de curtcircuit.....	144
19.6.3.	Comprovació del cable escollit.....	145
19.7.	JUSTIFICACIÓ DELS CONDUCTORS DE BAIXA TENSIÓ. PRODUCCIÓ.....	147
19.7.1.	Càlcul de la intensitat nominal de la instal·lació.....	147
19.7.2.	Càlcul de la intensitat permanent de curtcircuit.....	147
19.7.3.	Comprovació del cable escollit.....	14
19.7.4.	Taula característiques conductors .....	151

<b>20. DIMENSIONAT DEL EMBARRAT D'ALTA TENSIÓ.....</b>	<b>152</b>
20.1. PROTECCIÓ SONTRA SOBRECÀRREGUES I CURTCIRCUITS.....	152
20.1.2. Proteccions en Mitja Tensió .....	153
20.1.3. Proteccions en Baixa Tensió .....	153
<b>21. AJUST RELÉ EKORRPS.....</b>	<b>154</b>
<b>22. DIMENSIONAT DE LA VENTILACIÓ DEL CENTRE DE MESURAMENT.....</b>	<b>155</b>
<b>23. DIMENSIONAT DE LA FOSA DE RECOLLIDA D'OLI.....</b>	<b>155</b>
<b>24. CÀLCUL DE LES INSTAL·LACIONS DE POSADA A TERRA.....</b>	<b>155</b>
24.1. INVESTIGACIONS DE LES CARACTERÍSTIQUES DEL SÒL.....	156
24.2. DETERMINACIÓ DE LES CORRENTS MÀXIMES DE DEFECTE A TERRA .....	156
24.3. DISSENY PRELIMINAR DE LA INSTAL·LACIÓ DE TERRA.....	158
24.4. CÀLCUL DE LA RESISTÈNCIA DEL SISTEMA A TERRA.....	158
24.5. MESURES DE SEGURETAT ADDICIONALS PER A LES TENSIONS DE CONTACTE.....	159
24.6. VALORS REALS DE RESISTÈNCIA DE TERRA E INTENSITAT DE DEFECTE.....	160
24.7. CÀLCUL DE LES TENSIONS DE PAS I CONTACTE EN EL INTERIOR.....	160
24.8. CÀLCUL DE LES TENSIONS DE PAS I CONTACTE EN EL EXTERIOR.....	161
24.9. CÀLCUL DE LES TENSIONS DE PAS MÀXIMES ADMISSIBLES.....	161
24.10. COMPROVACIÓ DELS RESULTATS OBTINGUTS.....	163
24.11. INVESTIGACIÓ DE LES TENSIONS TRANSFERIBLES AL EXTERIOR.....	163

<b>25. PLEC DE CONDICIONS.....</b>	<b>166</b>
25.1. CONDICIONS GENERALS.....	166
25.1.1. Naturalesa i objecte del plec de condicions .....	166
25.1.2. Neteja final de les obres .....	168
25.2. CONDICIONS DELS MATERIALS.....	169
25.3. CONDICIONS ESPECÍFIQUES DELS MATERIALS D'OBRA CIVIL .....	169
25.4. DETALLS OMESOS .....	170
25.5. RECEPCIÓ DE LES INSTAL·LACIONS.....	170
25.6. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA.....	172
25.7. CONDICIONS ELÈCTRIQUES.....	176
25.8. CONDUCTORS.....	180
25.9. CAIXES DE DISTRIBUCIÓ.....	182
25.10. MECANISMES I PRESSES DE CORRENT.....	183
25.11. ENLLUMENAT D'EMÈRGENCIA I SENYALITZACIÓ.....	183
25.12. TOMES DE TERRA .....	184
25.13. PROTECCIÓ CONTRA CONTACTES DIRECTES.....	185
25.14. PROTECCIÓ CONTRA CONTACTES INDIRECTES.....	185
25.15. PROTECCIÓ CONTRA SOBREINTENSITATS.....	185
25.16. CONDICIONS D'ÚS, MANTENIMENT I SEGURETAT.....	186
25.17. CERTIFICATS I DOCUMENTACIÓ.....	186
25.18. LLIBRE D'ORDRES.....	187
25.19. PROVES ESPECÍFIQUES DE LA INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA.....	187
25.20. POSADA A TERRA.....	187

<b>26. VIABILITAT AMBIENTAL.....</b>	<b>190</b>
26.1. OBJECTE.....	190
26.2. NORMATIVA MEDIOAMBIENTAL.....	190
26.2.1. Declaració d'impacte ambiental .....	190
26.3. METODOLOGIA.....	190
26.4. UBICACIÓ DE L'AEROGENERADOR.....	192
26.4.1. Antecedents: Estat de la producció eòlica a Catalunya .....	192
26.4.2. Parcs eòlics en funcionament .....	192
26.4.3. Parcs eòlics autoritzats .....	192
26.4.4. Parcs eòlics en tràmit .....	193
26.4.5. Parcs eòlics desballestats .....	193
26.4.6. Distribució per províncies .....	193
26.5. CONSIDERACIONS PER UNA CORRECTA SITUACIÓ.....	194
26.5.1. Aspectes energètics.....	194
26.5.2. Aspectes tècnics.....	195
26.5.3. Aspectes medioambientals.....	195
26.6. PROCÉS DE SELECCIÓ DE L'EMPLAÇAMENT DEL PARC.....	196
26.6.1. Protecció horitzontal.....	196
26.6.2. Protecció territorial.....	196
26.6.3. Espais naturals de protecció especial.....	197
26.6.4. Zones amb suficiència de vent.....	198

26.7.	IMPACTE VISUAL.....	200
26.7.1.	Aspectes visuals negatius.....	200
26.7.2.	Aspectes visuals positius.....	200
26.8.	IMPACTE SONOR.....	200
26.8.1.	Definició.....	200
26.8.2.	Normativa acústica.....	202
26.8.3.	Sorolls dels aerogeneradors.....	202
26.8.4.	Nivells de so en els indrets afectats.....	202
26.9.	CENTELLEIG.....	203
26.10.	PARPALLEIG PER L'OMBRA DE LES PALES.....	203
26.11.	RISC DE RPTURA DE L'AEROGENERADOR SONOR.....	205
26.12.	IMPACTE SOBRE LA FAUNA.....	206
26.13.	IMPACTE SOBRE LA VEGETACIÓ.....	207
26.14.	IMPACTE SOBRE EL SÒL.....	209
26.15.	SENYALITZACIÓ I ABALISAMENT.....	209
26.15.1.	Senyalització de dia.....	210
26.15.2.	Senyalització de nit.....	210
26.16.	GESTIÓ DE RESIDUS.....	210
26.17.	EMISIONS A LA ATMOSFÈRA I ESTALVI DE COMBUSTIBLES FÒSSILS.....	212



<b>27. SEGURETAT I SALUT EN EL TREBALL.....</b>	<b>216</b>
27.1. INTRODUCCIÓ.....	216
27.2. CARACTERÍSTIQUES DE LES OBRES A REALITZAR.....	216
27.3. APLICACIÓ DE LA SEGURETAT I PREVENCIÓ DELS RISCOS.....	217
27.4. PRIMERS AUXILIS.....	219
27.5. PROCEDIMENTS D'EMERGÈNCIA.....	219
27.6. REGLES I NORMES.....	219
27.7. PREVENCIÓ CONTRA INCENDIS.....	225
27.8. ALS VOLTANTS I DINTRE DEL AEROGENERADOR.....	225
27.9. OBERTURA DE LA PORTA DE LA GÓNDOLA.....	225
27.10. ENCENDRE L'AEROGENERADOR.....	225
27.11. AÏLLAMENT DE L'AEROGENERADOR O EL SEUS COMPONENTS.....	226
27.12. PROCEDIMENT EN CAS D'EMERGÈNCIA.....	226
27.13. INFORME.....	228
<b>28. MODEL DE SIMULACIÓ.....</b>	<b>230</b>
28.1. ELEMENTS DE LA SIMULACIÓ.....	234
28.2. SIMULACIONS.....	241
28.3. SIMULACIÓ RESPOSTA DEL PITCH.....	246
28.4. TAULA VALORS SIMULACIONS I GRÀFIQUES.....	247
28.5. CIRCUIT DE SIMULACIÓ.....	255
28.6. CIRCUIT DE SUBSISTEMA.....	255
28.7. CONCLUSIONS.....	256

<b>29. INTRODUCCIÓ A L'ESTRUCTURA.....</b>	<b>258</b>
29.1.    CREACIÓ PLANTILLA O BASE.....	258
29.2.    PROGRAMACIÓ DE LES FUNCIONS.....	260
<b>30. INTRODUCCIÓ AL PROGRAMARI.....</b>	<b>261</b>
30.1.    DADES EÒLIQUES.....	262
30.2.    SELECCIÓ DE L'AEROGENERADOR.....	267
30.3.    XARXA DE POTÈNCIA.....	270
<b>31. PRESSUPOST.....</b>	<b>277</b>
31.1.    PRESSUPOST DE L'AEROGENERADOR.....	277
31.1.    PRESSUPOST DE LA INFRAESTRUCTURA.....	279
<b>32. ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA.....</b>	<b>282</b>
<b>33. MARC LEGAL.....</b>	<b>282</b>
<b>34. RÈGIM ECÒNOMIC.....</b>	<b>283</b>
34.1.    CEDIR L'ELECTRICITAT AL SISTEMA.....	283
34.2.    VENDRE L'ELECTRICITAT AL SISTEMA.....	283
34.3.    CONCLUSIONS.....	284

<b>35. CÁLCULS ECONÒMICS.....</b>	<b>285</b>
<b>36. AJUDES PÚBLIQUES.....</b>	<b>286</b>
36.1.    UNIÓ EUROPEA.....	286
36.2.    GOVERN ESPANYOL.....	287

## Glossari

### Símbols

$pu$	Valors per unitat [quotient entre el valor real d'aquella magnitud i un valor de la mateixa magnitud adoptat com a base]
$g$	Força de la gravetat
$\rho$	Densitat
$\frac{\delta \rho}{\delta n}$	Gradient horitzontal de pressió
$\Omega$	Velocitat de la terra ( $7.29^{-5} \text{ rad/s}$ )
$\Phi$	Latitud
$v$	Velocitat lineal del mòbil
$\sigma_{wx}$	Desviació mitjana del vent
$\sigma_{wy}$	Desviació vertical del vent
$\sigma_{wz}$	Desviació perpendicular del vent
$I_x$	Intensitat de turbulència
$h_0$	Altura obtenció de dades, normalment a 10m
$h$	Altura on s'estudia la intensitat de la turbulència
$I_{15}$	Intensitat de la turbulència per una velocitat mitja de 15 m/s
$Z_0$	Paràmetre relacionat amb el tipus d'emplaçament (rugositat)
$V_{hub}$	Velocitat d'alçada del rodet
$U_m$	Indicador de moda
$U_d$	Dispersió de la distribució

$V_w$	Velocitat mitjana del vent
$T$	Període de temps d'estudi
$V_{ix}$	Velocitat instantània
$F(V_o)$	Distribució de Weibull
$f(V_w)$	Densitat de probabilitat
$N$	Nombre total de mesures
$V_i$	Velocitat de cada mesura
$V_h$	Velocitat del vent a l'alçada escollida
$V_o$	Velocitat del vent a l'alçada de referència (10 m)
$P_{act}$	Potència activa
$Q_{reac}$	Potència reactiva
$S$	Potència del necessari
$P$	Potència extreta del vent
$m$	Massa de corrent
$\frac{P}{P_o}$	Relació de potències
$A$	Àrea escombrada per la turbina
$P_m$	Potència mecànica
$R$	Radi de les pales
$\beta$	Pitch angle
$\beta_d$	Pitch desitjat
$\omega_t$	Velocitat de rotació de la turbina
$\lambda$	Velocitat específica
$\lambda_{opt}$	Velocitat específica optima
$P_e$	Potència elèctrica

$T_m$	Parell mecànic
$T_e$	Parell electromagnètic
$\omega_{ERR}$	Error de la velocitat angular
$P_{ERR}$	Error de potencia
$P_{sort}$	Potència de sortida
$\tau_{mot}$	Constant servo motor
CA	Corrent alterna
abc	Sistema trifàsic
dq0	Sistema giratori
$I_{abc}$	Corrent trifàsica
$V_{abc}$	Tensió trifàsica
kW	Kilowatts
m/s	metres/segon
Ca	Coeficient de resistència de la torre al aire
Ht	Longitud de la torre
Pt	Pes de la torre
$F_v$	Pes vertical
$F_{vp}$	Esforç pales
$F_{vt}$	Esforç torre
$F_h$	Esforç horitzontal
$E_m$	Altura d'encastament de la torre (m)
Ght	Pes del formigó
$U_{hs}$	Pes específic del formigó sense armar

$Z_T$	Impedància total cable
$R$	Resistència
$\omega L$	Valor de la inductància en oms
$\Delta t$	Diferència de temperatura
$DMG$	Diàmetre mig geomètric
$RMG$	Radi mig geomètric
$C_{fase}$	Capacitància per fase.
$\epsilon_r$	Permissivitat relativa
$\omega$	Pulsació
$I_s$	Intensitat de secundari
$I_p$	Intensitat primari
$U$	Tensió
$\cos \varphi$	Factor de potencia
$I_{cc}$	Intensitat de curtcircuit
$S_{cc}$	Potència de curtcircuit
$S_R$	Superfície mínima de la reixa d'entrada de ventilació del transformador
$P_{FE}$	Pèrdues en el ferro
$P_{CU}$	Pèrdues en el coure
$K$	Coeficient en funció de la reixa d'entrada d'aire
$\Delta_t^3$	Diferencia de temperatura enter l'aire d'entrada i de sortida.
$Z_n$	Impedància equivalent al neutre
$K_r$	Paràmetre configuració terres
$K_p$	Paràmetre configuració terres
$K_c$	Paràmetre configuració terres

$\rho_s$	Resistivitat del terreny
$I_d$	Intensitat de defecte
$I_n$	Intensitat nominal
$V$	Tensió de fase
$U_d$	Tensió de defecte
$V_{pas}$	Tensió de pas
$V_{cont.}$	Tensió de contacte
$V_{pacc}$	Tensió de pas en accés
$cdt$	Caiguda de tensió (%)
$S$	Secció del cable (mm <sup>2</sup> )



**DOCUMENT N°1:**  
**INTRODUCCIÓ A LA ENERGIA EÒLICA**

## 1. Introducció

El vent es una font d'energia de la qual l'ésser humà té coneixement des d'èpoques molt antigues, encara que curiosament s'ha bolcat en l'ús d'energies menys sanes. L'Aprofitament del vent avui pot substituir al combustible fòssil, evitar l'escalfament terrestre i aturar la gran emissió milions de tones de diòxid de carboni.

En els pròxims quaranta anys els éssers més evolucionats del planeta hauran arribat a retrotreure el clima de la Terra en un quants cents de milers d'anys, si no aconseguim reduir dràsticament l'emissió de gasos que afecten a la atmosfera. La cremada de combustibles fòssils es la principal proveïdora de diòxid de carboni, el gas que accentua el denominat "efecte hivernacle", per l'acumulació d'aquest gas a l'atmosfera l'energia dels raigs solars convertida en temperatura queda retinguda com succeeix en els hivernacles per a flors i hortalisses, no podent alliberar-se en la seva totalitat fins a l'espai, incrementant progressivament la temperatura del planeta.

L'energia eòlica en particular ofereix beneficis en la no generació de residus perillosos i el fet de la dependència de ser una font inesgotable. En quant a l'ocupació del sòl, els avantatges s'amplien: un parc eòlica no precisa més que l'1% de la superfície, i es compatible amb altres activitats, per exemple: a l'agricultura.

L'instal·lació de parcs eòlics en el mar es un projecte que s'està dur a terme en Dinamarca.

A diferencia d'altres fonts d'energia els seus costos s'estan reduint com a conseqüència del seu avanç tecnològic en la producció dels equips necessaris i la complementació amb la més moderna tecnologia electrònica, a més de tot això, pot ajudar a disminuir de forma dràstica l'emissió de diòxid de carboni a l'atmosfera. També hi ha que tenir en compte els beneficis col·laterals: en Dinamarca el "negoci del vent" genera mes llocs de treball que tota la seva indústria pesquera, es tracta d'una indústria intensiva en l'ocupació de mà d'obra. En quant a l'acceptació pública d'aquests projectes les actuals experiències revelen un decidit suport del públic cap aquest tipus de tecnologia, fonamentalment en les poblacions en zones rurals.

### 1.1. Objectiu del projecte

L'objectiu d'aquest projecte es el disseny d'una micro-planta de generació eòlica de un sol aerogenerador entregant la seva potència a un final de línia elèctrica de distribució de mitja tensió (Coll de la barraca), la qual subministra entre altres energia a unes cases aïllades ubicades en zona rural. Volem comprovar si serien possibles altres tendències a l'hora de fer aquets tipus d'instal·lacions ja que la dinàmica actual es de grans parcs amb molts aerogeneradors de gran potència amb ubicacions properes a llocs molt concrets de la xarxa elèctrica com la zona de Tarragona.

## 1.2. Abast del projecte

En primer lloc es realitzarà un estudi de les necessitats energètiques de la infraestructura a subministrar electricitat, i s'estudien les característiques del vent en la ubicació seleccionada.

Es realitzarà un estudi de la torre i de les pales del aerogenerador calculant els esforços que suporten i comentant els resultats.

Es realitzarà el disseny d'una instal·lació elèctrica, que constarà d'un centre de transformació per tal d'eleva la tensió a la de la línia de mitja, escollint tota l'aparamenta com per exemple, conductors, seccionadors...i altres materials, sincronitzant la potència entregada de la micro-planta en la línia.

A continuació, és realitzarà un projecte executiu, on s'estudia la instal·lació de l'aerogenerador i de la infraestructura del centre de transformació, càlculs, certificació i comprovació de tots els conceptes necessaris per la validació de les instal·lacions, respectivament.

També es realitzaran els pressupostos, l'estudi de viabilitat econòmica

Els següents punts resumeixen l'abast del projecte:

1. Introducció a la energia eòlica.
2. Redacció del projecte executiu sobre la instal·lació d'un aerogenerador i del centre de transformació necessari per fer la injecció d'energia a la xarxa.
3. Realització de simulacions de la instal·lació i un software de guia d'entorn d'usuari.

## 2. Recurs eòlic

### 2.1. Tipus de vents: globals, geostrofics i locals

El vent puja des de l'equador i es desplaça en direcció nord i sud en capes més altes de l'atmosfera. Al voltant dels 30° de latitud en ambdós hemisferis la força de Coriolis evita que el vent es desplaci més enllà. En aquesta latitud es troba un àrea d'altres pressions, pel que l'aire comença a decaure de nou.

Quan el vent pugi des de l'equador, hi haurà un aire de baixes pressions prop del nivell del sol atraient els vents del nord i del sud. En els pols, hi hauran altres pressions a causa de l'aire fred. Tenint en compte la força de curvatura provocada per la força de Coriolis, obtenim els següents resultats generals de les direcció dels vents dominants.

LATITUD	90-60°N	60-30°N	30-0°N	0-30°N	30-60°N	60-90°N
DIRECCIÓ	NE	SO	NE	SE	NO	SE

Taula 2.1. Vents dominants

Les direccions dominants del vent són importants per a l'emplaçament d'un aerogenerador, ja que òbviament voldrem situar-lo en un lloc en el qual hi hagi el mínim nombre d'obstacles possibles per a les direccions dominants del vent. No obstant això la geografia local pot influenciar en els resultats.

L'atmosfera és una capa molt fina al voltant del globus. El globus té un diàmetre de 12.000 km. La troposfera que s'estén fins al 11 km d'altitud, és on tenen lloc els fenòmens meteorològics i l'efecte hivernacle. Vist a una escala diferent: si el globus fos una bola de 1,2 metres de diàmetre, l'atmosfera només tindria un espessor de 1 mm.

Els vents geostrofics són generats, principalment, per les diferències de temperatura, així com per les de pressió, i són influenciats per la superfície de la terra.

Es troben a una altura de 1.000 metres a partir del nivell del sòl. La velocitat dels vents geostrofics pot ser mesurada utilitzant globus sonda.

Els vents estan molt més influenciats per la superfície terrestre a altituds de fins a 1000 metres. El vent és frenat per la rugositat de la superfície de la terra i pels obstacles. Les direccions del vent prop de la superfície seran lleugerament diferents a les dels vents geostrofics a causa de la rotació de la terra. En

Encara que els vents globals són importants en la determinació dels vents dominants d'un àrea determinada, les condicions climàtiques locals poden influir en les direccions dels vents més comuns. Els vents locals sempre es sumen als globals en els sistemes èdics a gran escala, això és, la direcció del vent és influenciada per la suma dels efectes globals i locals. Quan els vents a gran escala són suaus, els vents locals poden dominar els règims dels vents.

Un exemple poden ser les brises marines. Durant el dia la terra s'escalfa més ràpidament que el mar per l'efecte del sol. L'aire puja, circulant cap al mar, i crea una depressió a nivell del sòl que atrau l'aire fred del mar. Això és el que es diu brisa marina. Sovint hi ha un període de calma al vespre, quan les temperatures del sòl i del mar s'igualen. Durant la nit els vents bufen en sentit contrari. Normalment durant la nit la brisa terrestre té velocitats inferiors, degut al fet que la diferència de temperatures entre la terra i el mar és més petita. El conegut Monsó del sud-est asiàtic és en realitat una forma a gran escala de la brisa marina i la brisa terrestre, variant la seva direcció segons l'estació, degut al fet que la terra s'escalfa o refreda més ràpidament que el mar.

## 2.2. Gradient de pressió i força de Coriolis

La causa del moviment de l'aire és el desenvolupament de gradients horitzontals de pressió dins de l'atmosfera, que són conseqüència de la radiació solar rebuda per la terra. L'atmosfera funciona com una gran màquina tèrmica en que la diferència de temperatura existent entre els pols i l'equador proporciona l'energia necessària per la circulació atmosfèrica.

Els moviments verticals de l'atmosfera estan limitats per l'equilibri existent entre la força gravitatòria i el gradient vertical de pressió (equilibri hidrostàtic):

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

Equació 2.1. Gradient de pressió

Els mapes de pressions mesurades s'efectuen unint les línies de punts d'igual pressió, les isòbares:

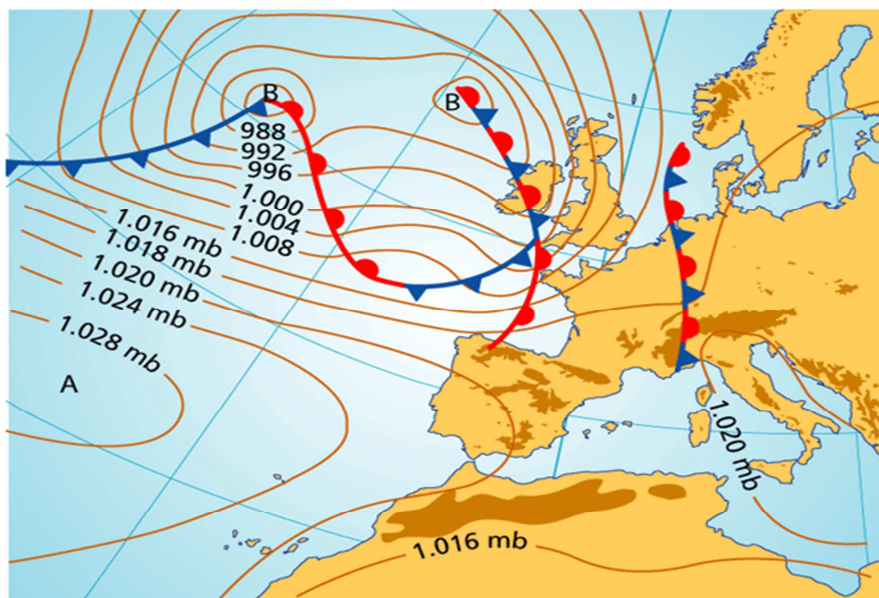


Figura 2.1. Mapa d'isòbares (Font: kalipedia.com)

En l'altitud la forma usual de donar aquests mapes es un altre, per a una determinada pressió es representa l'altura a la que és produïx, mitjançant línies de nivell, com si es tractés d'un mapa topogràfic. Les línies de nivell, isohipses, varien en el mateix sentit que les de pressions.

En l'imatge es veu representat un mapa que contempla les línies isòbares i isohipses.

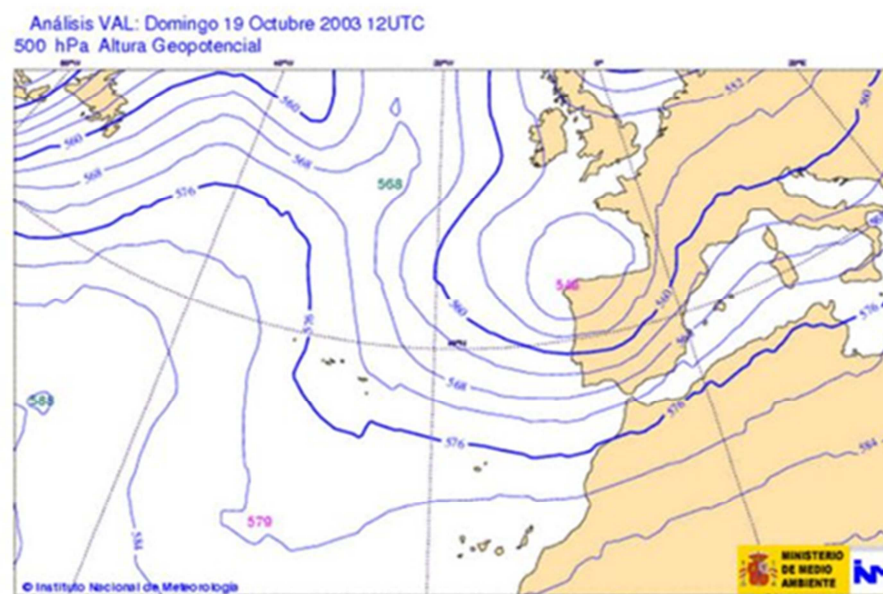


Figura 2.2. Mapa d'isòbares i isohipses (Font: [www.magrama.gob.es/](http://www.magrama.gob.es/))

La velocitat del vent serà major quan major sigui el gradient de pressió. L'aire es mourà de les zones d'altres pressions a baixes pressions. La força de pressió per unitat de massa, perpendicular a les isòbares s'expressa com:

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n}$$

**Equació 2-2. Força de pressió**

$\rho$  = Densitat

$\frac{\partial p}{\partial n}$  = Gradient horitzontal de pressió

La direcció del vent hauria de ser perpendicular a les isòbares, encara que lluny de la superfície terrestre, el vent bufa paral·lel a les isòbares. Això es degut a la força de Coriolis, la seva component horitzontal s'expressa:

$$f = -2\Omega \sin\varphi V$$

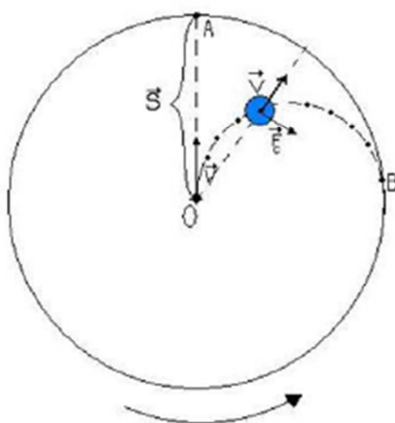
**Equació 2.3. Component horitzontal de la força de Coriolis**

$\Omega$  = velocitat de la terra ( $7,29 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$ )

$\varphi$  = Latitud

$v$  = velocitat del mòbil

La direcció de la força del vent és perpendicular al moviment, i fa que en l'hemisferi nord es desplaci constantment cap a la dreta (al contrari que al hemisferi sud).



**Figura 2.3. Força de Coriolis (Font: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))**

La força de Coriolis és un fenomen que es pot apreciar, per exemple, en les conques del rius, que estan excavades més d'un cantó depenent de l'hemisferi en el qual ens trobem. Un altre exemple serien les vies del ferrocarril que es desgasten més d'un costat que d'un altre. Llavors, la força de Coriolis afectarà també a vent global.

## 2.3. Turbulències

Les turbulències són fluctuacions ràpides i desordenades de les magnituds fluides, fonamentalment de la velocitat del vent, al voltant del seu valor mig.

Per tal de predir les desviacions típiques de la velocitat en cada una de les tres direccions dels eixos de coordenades, de manera que la direcció “x” es la direcció mitja del vent, la direcció “z” es la vertical i “y” és la perpendicular a les altres dues, s'utilitzen les següents expressions:

$$\sigma_{wx}(t_0) = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} (v_x(t) - v_w(t_0))^2 dt}$$

**Equació 2.4. Desviació mitja del vent**

$$\sigma_{wy}(t_0) = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} (v_y(t))^2 dt}$$

**Equació 2.5. Desviació vertical del vent**

$$\sigma_{wz}(t_0) = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_0-T/2}^{t_0+T/2} (v_z(t))^2 dt}$$

**Equació 2.6. Desviació perpendicular del vent**

Una estimació del valor relatiu de la turbulència el dona la intensitat de la turbulència, definida com:

$$I_x = \frac{1}{\ln\left(\frac{h}{h_0}\right)}$$

**Equació 2.7. Intensitat de la turbulència**



$h_o$  = altura obtenció de dades, normalment a 10m

$h$  = altura on s'estudia la intensitat de la turbulència

La intensitat de la turbulència disminueix amb l'alçada i augmenta amb l'augment de la rugositat del terreny, de manera que:

$$l_x = \frac{\alpha}{1 - \alpha \ln\left(\frac{h}{15,25}\right)}$$

**Equació 2.8. Intensitat de la turbulència, depenent de la rugositat**

La variació de la velocitat del vent amb l'alçada i la fricció amb el terra s'expliquen més conceptes sobre el paràmetre  $\alpha$ .

Existeix diversa normativa que regula el valor de la intensitat de la turbulència que pot suportar un aerogenerador segons les característiques del vent de l'emplaçament on s'instal·larà. La norma IEC61400-1 marca que:

$$I_x = I_{15} \frac{a + 15/V_{hub}}{a + 1}$$

**Equació 2.9. Intensitat de la turbulència per una velocitat mitja de 15m/s**

$I_{15}$  = Intensitat de la turbulència per una velocitat mitja de 15m/s

$\alpha$  = Paràmetre relacionat amb el tipus d'emplaçament

$V_{hub}$  = Velocitat d'alçada del rodet

## 2.4. Valors extrems

En la realització de l'estudi del recurs eòlic en una zona és també interessant conèixer els valors extrems de vent que es poden produir a llarg termini.

La llei de Gumbel o Fisher-Tippett proporciona la probabilitat de que la velocitat del vent màxim en una zona superi un valor determinat.

$$P(V_{T_{extremanual}} < U_0) = \exp \left[ -\exp \left( -\frac{(U_0 - U_m)}{U_d} \right) \right]$$

**Equació 2.10. Equació de la llei de Gumbel o Fisher-Tippett**

$U_m$  = Indicador de moda

$U_d$  = Dispersió de la distribució

Aquests valors es poden obtenir a partir d'una sèrie de mesures mitjançant un procediment similar al que s'indicarà per calcular els coeficients de la corba de Weibull. En general aquests paràmetres augmenten al disminuir el temps T, del tal manera que per ràfegues més curtes els valors extrems són majors.

A vegades el valor extrem es calcula en funció del recorregut del vent, integrant l'expressió del valor mig. En aquest cas l'anemòmetre mesuraria el temps T que es triga en recórrer una milla i la velocitat màxima seria el valor mínim d'aquest temps.

El nombre d'anys entre dues ràfegues es correspon amb el període de retorn R que es calcula:

$$R = \frac{1}{1 - P}$$

**Equació 2.11. Període de retorn**

$P$  = Probabilitat de que la velocitat mitja excedeixi un valor determinat

En el cas de disposar d'una estructura amb una vida útil estimada de L anys, amb un risc r de que durant aquest període no incideixi una velocitat del vent superior a una determinada, es compleix:

$$r = 1 - P^L = 1 - \left( 1 - \frac{1}{R} \right)^L$$

$$P = (1 - r)^{\frac{1}{L}}$$

$$R = \frac{1}{1 - (1 - r)^{\frac{1}{L}}}$$

Cas exemple:

Es disposa d'una estructura amb una vida útil de  $L=25$  anys, amb un risc  $r = 0,1$  (10%). La probabilitat anual de que no es superi la velocitat i el període de retorn serien:

$$P = (1 - 0,10)^{\frac{1}{25}} = 0,9958$$

$$R = \frac{1}{1 - 0,9958} = 238 \text{ anys}$$

## 2.5. Altres efectes

### 2.5.1. Efecte del parc

Es produeix quan cada aerogenerador frena el vent després d'utilitzar-lo per convertir-lo en electricitat. Idealment hauríem de separar les turbines el màxim possible en la direcció de vent dominant perquè aquest fenomen no es produís. La pèrdua d'energia típica és al voltant del 5 per cent.

### 2.5.2. Efecte túnel

Aquest es pot observar entre dos edificis alts o en un pas estret entre muntanyes, l'aire es comprimeix en la part dels edificis o de la muntanya que està exposada al vent, i la seva velocitat creix entre els obstacles del vent. Per a obtenir un bon efecte les muntanyes no han de ser molt accidentades ja que sinó es produiran moltes direccions de vent diferents. Si hi ha moltes turbulències, l'avantatge que suposa la major velocitat del vent es veurà completament anul·lada, i els canvis en el vent poden causar trencament i desgast innecessaris a l'aerogenerador.

### 2.5.3. Efecte muntanya

El vent travessant els cims de les muntanyes es fa ràpid i dens, i quan bufa fora d'elles es torna lleuger i lent. Una forma corrent d'emplaçar aerogeneradors és situant-los en muntanyes. En aquestes sempre s'aprecien velocitats de vent superiors a les de les àrees pròximes. Aquest fenomen és degut a que el vent es comprimeix en la part que més vent rep, i com l'aire arriba al cim, pot tornar a expandir-se al descendir cap al vessant de sotavent amb més baixa pressió.

## 2.6. Valor mig de la velocitat del vent

La característica més rellevant del vent és la seva variabilitat. Donat que les fluctuacions turbulentes són aleatòries i requereixen un tractament estadístic, s'aconsella separar-les de les variacions de temps diàries i estacionals. La forma de aconseguir-ho és considerar el valor mig de la velocitat durant un període apropiat de temps,  $T$ , i suposar al mateix temps les fluctuacions turbulentes.

Es requereix de la següent expressió pel càlcul de la velocitat mitjana:

$$V_w(t_o) = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_o - \frac{T}{2}}^{t_o + \frac{T}{2}} v_{ix}(t) dt$$

**Equació 2.12. Velocitat mitjana del vent**

$v_w$  = Velocitat mitjana del vent

$T$  = Període de temps d'estudi

$v_{ix}$  = Velocitat instantània

## 2.7. Distribució de Weibull

La distribució de Weibull és una funció distribució acumulada que permet predir la variació de la velocitat mitjana durant un període de temps. Així expressa la probabilitat de que la velocitat excedeixi un valor límit durant un període de temps determinat.

L'expressió de la distribució de Weibull és:

$$F(V_o) = P(V_o < V_w) = \exp\left(-\frac{V_o}{C}\right)^k$$

**Equació 2.13. Distribució de Weibull**

La funció de densitat de probabilitat es calcula:

$$f(V_w) = k \cdot \frac{V^{k-1}}{C^k} \cdot \exp\left(-\frac{V}{C}\right)^k$$

**Equació 2.14. Densitat de probabilitat**

Per al càlcul de la distribució de Weibull és necessari obtenir els valors dels paràmetres  $C$  i  $k$ .

Aquests es poden obtenir a partir de les dades de velocitat mitjana i les freqüències de classe de cada sector, segons dos mètodes diferents, el mètode gràfic o el analític.

### 2.7.1. Mètode gràfic

El procediment a seguir consisteix en ajustar per mínims quadrats les dades a la recta:

$$Y = Y_0 + kX$$

**Equació 2.15. Recta de regressió, mètode gràfic**

$$Y = \ln(-\ln(F))$$

$$X = \ln(V_0)$$

El valor del pendent de la recta correspon al paràmetre  $k$ , mentre que la seva intersecció amb l'eix  $Y$  permet calcular  $Y_0$  i així determinar  $C$ :

$$Y_0 = -k \cdot \ln(C)$$

**Equació 2.16. Pendent de la recta, mètode gràfic**

### 2.7.2. Mètode analític

En primer lloc és necessari conèixer els valors de la velocitat mitja ( $V_w$ ) i desviació estàndard ( $\sigma$ ) del vent, pel període de temps estudiat en cada cas:

$$v_m = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i=1}^N V_i \right]$$

$N$  = nombre total de mesures

$V_i$  = velocitat de cada mesura

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (V_i - V_m)^2}$$

Pel càlcul de  $c$  i  $k$  són necessàries les següents expressions:

$$k = \left( \frac{\sigma}{V_m} \right)^{-1,086} \quad (l \leq k \leq 10)$$

$$c = \frac{V_m}{\Gamma(1 + \frac{1}{k})}$$

La funció gamma es defineix com:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$$

## 2.8. Rosa dels vents

Per a realitzar la rosa dels vents és necessari un estudi estadístic de la freqüència de cada direcció del vent. S'analitzarà la freqüència de la direcció del vent en cada un dels sectors anteriorment anomenats.

La rosa dels vents és un gràfic radial que permet obtenir informació sobre la velocitat i orientació del vent. Mostra les diverses orientacions i velocitats mitges del vent dividint la circumferència en varis sectors. El cas més general és dividir-la en setze sectors, ja que és un model més precís. Llavors, les zones es subdivideixen de la següent manera:

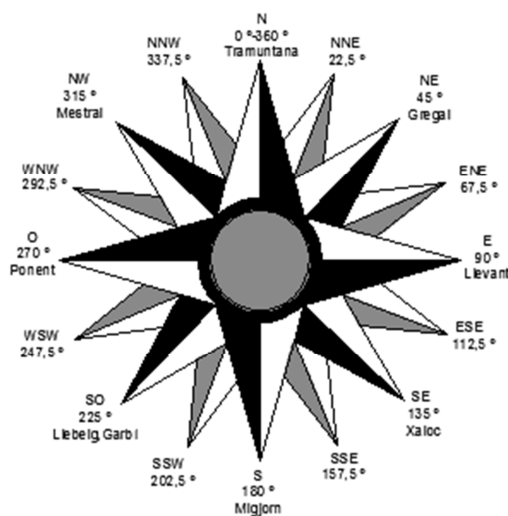


Figura 2.4. Rosa dels vents de 16 sectors

## 2.9. Variació de la velocitat del vent amb l'alçada

El càlcul de la variació del vent amb l'alçada és important per a determinar l'alçada de la torre de l'aerogenerador i les dimensions de les pales.

La velocitat del vent augmenta amb l'alçada, però és important tenir en compte que a major alçada més gran és el esforç mecànic que suporten les pales de l'aerogenerador.

Per realitzar el càlcul de la velocitat del vent a diferents alçades s'utilitza la següent expressió:

$$V_h = V_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^\alpha$$

**Equació 2.17. Velocitat del vent a diferents alçades**

$V_h$  = Velocitat del vent a l'alçada escollida

$V_0$  = Velocitat del vent a l'alçada de referència (10 m)

$h$  = Alçada

$h_0$  = Alçada de referència (10 m)

El paràmetre  $\alpha$  varia amb l'hora del dia, l'estació, el tipus de terreny, la velocitat del vent i l'estabilitat atmosfèrica. Per tal de demanar el seu valor s'utilitzen les següents expressions vàlides per una atmosfera neutre. En general el paràmetre  $\alpha$  augmenta amb la rugositat del terreny i disminueix amb la velocitat del vent i amb el grau d'estabilitat atmosfèrica.

$$\alpha = \left(\frac{h_0}{10}\right)^{0,2} \cdot (1 - 0,55 \cdot \log(V_0))$$

**Equació 2.18. Paràmetre  $\alpha$**

En la següent expressió el paràmetre  $\alpha$  només depèn de la rugositat del terreny:

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{15,25}{Z_0}\right)}$$

$Z_0$  = Rugositat del terreny

A continuació es presenten les dades de rugositat i el càlcul del paràmetre  $\alpha$ , segons el tipus de terreny:

TIPUS DE TERRENY	COEFICIENT DE RUGOSITAT	PARÀMETRE $\alpha$
GEL	$10^{-5}$ a $3 \cdot 10^{-5}$	0,070 a 0,076
AIGUA	$10^{-4}$ a $3 \cdot 10^{-4}$	0,084 a 0,092
HERBA	$10^{-3}$ a $10^{-2}$	0,104 a 0,136
TERRENY ROCÓS	$10^{-2}$ a $5 \cdot 10^{-2}$	0,136 a 0,175
PASTURES	0,1 a 0,3	0,199 a 0,255
SUBURBIS	0,5 a 1	0,293 a 0,367
BOSCOS	0,1 a 1	0,199 a 0,367
CIUTATS	1 a 5	0,367 a 0,897

Taula 2.2. Taula tipus de rugositat i paràmetre  $\alpha$  en funció de la rugositat

## 2.10. Anemometria

Per estudiar les característiques del vent és necessari, a més dels mètodes esmentats amb anterioritat, la realització d'un estudi de les mesures dels vents locals que ofereixin informació més pròxima i fiable per poder contrastar-les amb els mètodes anteriorment esmentats.

S'establiran punts de connexió entre les dades de l'estació més propera i la zona a tractar. Les dades de la zona a tractar seran donades per un anemòmetre normalment format per tres cassolotes, que capturen el vent, un eix vertical que dona l'alçada de referència i un registrador de dades. Aquest registrador mesura el nombre de revolucions per segon i emmagatzema aquesta dada. Es habitual que l'anemòmetre estigui equipat amb un *penell* (peça de metall en forma de sageta o de gall que serveix per assenyalar la direcció del vent) per detectar la direcció del vent.

Per que aquestes mesures siguin receptives per l'anemòmetre ha d'estar lliure d'objectes, edificis o obstacles que puguin interferir en la mesura, inclosa la pròpia estructura de suport. En general s'ha de tenir en compte que qualsevol obstacle artificial pot alterar el vent i que aquesta pertorbació s'estén per sobre de l'obstacle a una distància entre dos o sis vegades la seva mida, mentre que per sota de l'objecte pot ser de 10 a 20 vegades.

## 2.11. Dades meteorològiques de la zona

El primer pas per al càlcul del recurs eòlic es l'obtenció de dades: la velocitat mitjana, freqüència i direcció del vent a la zona d'implantació.

Si la zona d'estudi es troba a Catalunya és possible demanar les dades al Servei Meteorològic de la Generalitat de Catalunya, amb adreça [www.meteocat.cat](http://www.meteocat.cat). A través d'aquest servei podem obtenir les dades de l'estació meteorològica més propera a la zona d'implantació.



Les dades que ens ofereixen són les següents:

- Velocitat mitjana del vent (m/s)
- Direcció mitjana del vent (graus)
- Ratxa (m/s)
- Direcció ratxa (graus)

D'altra banda, les dades necessàries per la realització dels càlculs són:

- Velocitat mitja diària del vent a 10m d'alçada
- Orientació predominant diària del vent
- Determinar la variabilitat del vent per escollir la tecnologia de generació

A l'hora d'obtenir les dades meteorològiques hem de tindre present el tipus d'estudi que volem dur a terme. És a dir, si volem les dades per a realitzar una estimació de l'energia a través d'un mètode estàtic, semi estàtic o quasi dinàmic, això dependrà de la fiabilitat requerida. Aquest tema es tractarà més en detall en l'apartat de viabilitat.

**DOCUMENT N°2:**  
**EMPLAÇAMENT I AEROGENERADOR**

### **3. Selecció de l'emplaçament**

#### **3.1. Introducció**

Una de les decisions més importants alhora de dissenyar un parc eòlic, es la selecció de l'emplaçament ja que determinarà el rendiment del parc i per tant l'energia que podrà produir.

Una mala selecció de l'emplaçament podria provocar per exemple:

- Pèrdues en la línia de connexió degut a la longitud excessiva d'aquesta.
- Baix rendiment dels aerogeneradors per ràfegues de vent massa altes.

#### **3.2. Factors meteorològics**

Els factors meteorològics son les variables més importants alhora de valorar les possibilitats d'un possible emplaçament ja que, afecten al disseny i funcionament dels sistemes eòlics. Els mes destacables son els següents:

- Velocitat mitja del vent i les seves variacions diürnes, estacionals e interanuals.
- Distribució de probabilitats de velocitats.
- Variació amb l'altura de la velocitat i en menor mesura, de la direcció.
- Distribució de direccions i probabilitats de canvis bruscs de direcció.
- Variacions estacionals i diürnes de la densitat de l'aire i variacions de la densitat amb l'altura.
- Caracterització de sèries temporals d'alts vents i de períodes de calma.
- Interaccions de les pales en parc eòlics.
- Freqüències de condicions extremes de vent (tempestes, huracans, etc.)
- Condicions atmosfèriques especials (gelades, sorra, elevada salinitat, etc.)

### 3.3. Criteris bàsics

Els emplaçaments dels aerogeneradors s'han de seleccionar en funció dels criteris següents:

- Elevada velocitat mitja. L'emplaçament ha de situar-se en zones d'altres velocitats mitges (mínim 5m/s) i situat en un terreny amb bona disposició.
- Sense obstacles que afectin al flux de l'aire.
- Acceptables variacions diürnes i estacionals, considerant l'acoblament favorable entre el vent disponible i la necessitat de subministrament elèctric.
- Acceptables nivells de vent extrems, que no redueixin la vida útil del sistema. Ens guiem per les dades estadístiques per conèixer la probabilitat de superar una determinada velocitat, així com el nombre de vegades en que existeix un determinat nivell de ràfegues. En les localitzacions amb un nivell alt de ràfegues no és convenient instal·lar-hi aerogeneradors algunes ubicacions que cal evitar son:
  - Passos entre muntanyes en àrees d'alts gradients de pressió.
  - Llargues valls descendents de cadenes muntanyoses.
  - Plans elevats.
  - Cims de muntanyes en àrees de forts vents d'altura.
  - Llocs costaners ben exposats en àrees de vents d'altura o forts gradients tèrmics o de pressió.
  - Ubicacions amb vegetació acusadament deformada per l'acció dels vents dominants.
- Existència d'una línia de distribució propera, per tal de minimitzar les pèrdues en la línia d'evacuació del parc.
- Respectar les zones protegides on no s'hi pot construir, com per exemple paratges naturals.

### 3.4. Fases d'informació meteorològica per l'emplaçament

L'Organització Meteorològica Mundial (WMO, 1981), considera que la recollida d'informació meteorològica relacionada amb les aplicacions de l'energia eòlica, consten de varies fases:

**Fase d'exploració**, que implica la prospecció eòlica general i els dissenys preliminars dels sistemes eòlics. Constitueix la fase prèvia per emplaçaments de grans màquines, però en el cas de instal·lació de màquines de petita potència hauria de ser l'únic nivell d'anàlisi de preinstal·lació.

**Fase de planificació**, que comprèn una detallada avaluació de l'emplaçament i del disseny del sistema eòlic. El pas següent consisteix en realitzar mesures i en establir correlacions aproximades amb els observatoris pròxims, i avaluar així les característiques del potencial eòlic. Si existeix una alta correlació entre l'emplaçament i l'observació de referència, aquest mètode és bastant precís, encara que s'ha de considerar les variacions estacionals de velocitat i direccions del vent. El procediment més fiable per a realitzar un emplaçament consisteix en instal·lacions mitjanes o grans, en prendre mesures de vent durant almenys un any, valorant si és representatiu i analitzar les dades per obtenir el potencial eòlic mig aprofitable. Aquest mètode és el més precís i es pot aplicar a qualsevol tipus de terreny.

**Fase d'operació**, que implica la predicció del vent i l'avaluació operacional del sistema.

En cadascuna d'aquestes fases el procediments implica el següent procés:

Prospecció eòlica general:

- Anàlisi a gran escala (10.000 km<sup>2</sup> a 100.000 km<sup>2</sup>)
- Avaluació a mitja escala (100 km<sup>2</sup> a 10.000 km<sup>2</sup>)
- Llista de llocs favorables.
- Avaluació de llocs favorables.
- Selecció d'emplaçaments.

Avaluació d'un emplaçament predetermina:

- Determinació inicial del potencial eòlic.
- Avaluació de l'emplaçament
- Definició de l'emplaçament.

En la primera fase, la de exploració, es poden utilitzar dades d'observacions però només és aplicable a zones extenses de terreny pla on les velocitats mitjanes anuals siguin iguals o superiors a 5m/s.

### 3.5. Aspectes particulars en la selecció d'emplaçaments

En la selecció d'un emplaçament, s'ha de tenir en compte les possibles interaccions de les esteles entre aerogeneradors, la potència total subministrada pot quedar reduïda respecte a un nombre equivalent d'unitats completament independents. No existeix un consens sobre la distància mínima desitjable entre màquines per evitar interferències. En general, la millor disposició consisteix en ubicar el menor nombre possible d'aerogeneradors en la direcció paral·lela als vents predominants i el major nombre possible en la direcció perpendicular. Per a minimitzar els efectes d'esteles en un parc, es considera que la **separació lateral mínima** ha d'estar entre **3 i 5 diàmetres**, i la **separació en la direcció predominant** del vent ha d'estar entre **7 i 10 diàmetres**.

## 4. L'aerogenerador

### 4.1. Introducció

El procés de selecció de l'aerogenerador es una de les fases del projecte més crítiques ja que tenim que fer servir tota la informació recopilada per decidir quin es el model que ens permetrà obtenir el màxim d'energia en funció de la ubicació escollida. Aquest procés es denomina càlcul del recurs eòlic, i ens permet obtenir les dades tant de potència extraïble com les d'energia generada segons l'aerogenerador que em escollit.

Per a una correcta elecció de l'aerogenerador, és necessari conèixer els diferents tipus d'aerogenerador comercialitzats així com les seves tecnologies de generació.

### 4.2. Classificacions

Les turbines eòliques es poden classificar segons diversos criteris. En aquest apartat es presenten les classificacions més comuns segons el criteri marcat. En una primera classificació, els aerogeneradors es diferencien entre, aquells que utilitzen rotors d'eix vertical i aquells que utilitzen rotors d'eix horitzontals.

### 4.3. Segons l'eix

- Rotor d'eix vertical:

La principal característica dels aerogeneradors d'eix vertical és que el seu eix de rotació es troba en posició perpendicular al terra. Tenen l'avantatge fonamental de que no precisen de cap sistema d'orientació actiu per col·locar-se en la posició adequada i així captar l'energia continguda en el vent.

Una altre avantatge respecte als aerogeneradors d'eix horitzontal és, que disposen del tren de potència, el generador elèctric i els sistemes de control a nivell del terra i per tant no tenen que fer servir cap tipus de

sistema l'elevació i subjecció a la zona de treball cada cop que son necessaris treballs de manteniment. També són més econòmics que els d'eix horitzontal al estalviar-se gran part de la infraestructura.



**Figura 4.1.** Turbina d'eix vertical tipus Darrieus (Font: [renovables-energia.com](http://renovables-energia.com))

Encara que aquets tipus d'aerogeneradors tenen algunes avantatges respecte als d'eix horitzontal, no son els mes utilitzats degut a la seva escassa capacitat de producció d'energia.

Els dissenys més habituals de turbines d'eix vertical són els rotors tipus Darrieus i els rotors tipus Savonius.



**Figura 4.2.** Turbina d'eix vertical tipus Savonius (Font: [cleangreenenergyzone.com](http://cleangreenenergyzone.com))

El seu rendiment i velocitat de gir és comparable al de les turbines d'eix horitzontal, però compten amb unes desavantatges que les fan no ser tan interessants econòmicament ni funcionalment:

- Necessiten motoritzar la turbina perquè comenci a girar ja que no consten de parell d'engegada.
- Necessiten utilitzar tensors addicionals per tal de garantir l'estabilitat de l'estructura.

Les turbines tipus Savonious disposen de dues pales que són dues meitats d'un cilindre tallades per una generatriu i desplaçades lateralment.

- Rotor d'eix horitzontal:

Els rotors d'eix horitzontal es caracteritzen per fer girar les seves pales en direcció perpendicular al vent incident. Són els més habituals ja que ofereixen majors potències que els d'eix vertical, encara que són més costosos.

Les turbines d'eix horitzontal es poden classificar segons:

- La velocitat de gir:
  - Turbines amb rotor multipala o turbines lentes. Les turbines lentes es caracteritzen per tenir un nombre de pales de entre 6 i 24 i per tant una solidesa elevada. Presenten elevats parells d'engegada i una velocitat de gir reduïda, per això la seva principal aplicació és el bombeig d'aigua i no s'utilitzen per a la generació d'energia.
  - Rotor tipus hèlix o turbines ràpides. Les turbines ràpides giren a una velocitat major que les turbines multipala. La velocitat lineal en la punta de la pala és de entre 6 a 14 vegades la velocitat del vent incident, per això, les turbines ràpides són les més apropiades per a la generació d'energia elèctrica. Els models més utilitzats són els de tres pales ja que, tenen una major estabilitat que els d'una o dues pales i un major rendiment energètic.
- La posició respecte al vent:
  - A sobrevent:

Són aquells aerogeneradors en els quals el rotor està situat de cara al vent, evitant així que el cos de la torre s'interposi entre el propi rotor i el vent. Aquest tipus de màquines necessiten un sistema d'orientació actiu ja que la velocitat del vent incideix sobre el rotor i posteriorment sobre la torre. Tot i això, és la configuració més utilitzada degut a les elevades càrregues aerodinàmiques que apareixen sobre la màquina quan la disposició és a sotavent.
  - A sotavent:

Aquest tipus d'aerogeneradors es caracteritzen per tenir situat el rotor a la cara de sotavent de la torre. Les màquines a sotavent tenen l'avantatge d'utilitzar un sistema



d'orientació passiu respecte al vent que es basa en la inclinació de les pales. El seu gran desavantatge és una escassa eficàcia.

- Els aerogeneradors d'eix horitzontal es poden dividir segons estiguin constituïts per una, dues o tres pales o siguin multipala:

- Una pala:

Es un sistema molt poc utilitzat, al tenir només una pala aquestes turbines necessiten un contrapès en l'altre extrem per equilibrar-se. Tenen una velocitat de gir molt elevada, però el seu principal inconvenient és que introdueixen en l'eix esforços variables que retallen la vida útil de la instal·lació.



**Figura 4.3.** Turbina d'eix horitzontal monopala (Font: [lacatedralonline.es](http://lacatedralonline.es))

- Dues pales:

Els aerogeneradors de dues pales tenen l'avantatge sobre els de tres, de resultar més econòmics i tenir un menor pes. El seu principal inconvenient és que necessiten una velocitat de gir major per a produir la mateixa energia de sortida.

- Tres pales:

La majoria dels aerogeneradors moderns tenen dissenys de tres pales, amb el rotor a sobrevent. Utilitzen motors elèctrics per els mecanismes d'orientació. Són els models que ofereixen una major estabilitat estructural i aerodinàmica, menor emissió de soroll i major rendiment energètic.

- Multipala:

Constituïts per entre 6 i 24 pales, presenten una elevada solidesa. Com s'ha esmentat anteriorment no tenen aplicacions per a la producció d'energia.

#### 4.4. Orientació dels aerogeneradors

- Les turbines de generació eòliques mòbils utilitzen diversos mètodes per a orientar-se en la direcció predominant del vent en cada moment.

- Mitjançant conicitat:

Aquells que utilitzen un motor elèctric i un sistema d'engranatges per a orientar la gòndola en la direcció del vent. És el sistema utilitzat en els aerogeneradors de producció d'energia mòbils.

El seu principal inconvenient és la seva complexitat, a més del consum de potència per part del motor i els seus possibles errors de funcionament. El seu principal avantatge és la ràpida adaptació a la variabilitat del vent.

- Mitjançant un penell:

És el sistema d'orientació més senzill que existeix. S'utilitza un penell situat a la part posterior de la gòndola per a orientar-la. Només té utilitat per a sistemes petits.

- Mitjançant molins auxiliars:

En aquests sistemes dos rotors ubicats a cada costat de la gòndola són moguts pel propi corrent d'aire i, així, ofereixen l'orientació necessària. És un sistema molt poc utilitzat.

- Tots els aerogeneradors han de disposar d'algun mètode de control de la potència generada per tal d'evitar que es produeixin d'anys en els diferents components en cas de vent excessiu. Segons el dispositiu que fan servir per controlar la potència, es poden classificar de la següent manera:

- Sistemes de pas variable:

Segons aquest mètode les pales poden variar el seu angle d'incidència respecte el vent. Quan la potència generada és excessiva, les pales comencen a girar sobre el seu eix longitudinal fins adoptar la posició anomenada de bandera. En aquesta posició la resistència al vent és mínima, així com el parell i la potència generada. Un sistema electrònic controla la posició de les pales en funció de la velocitat del vent.

El mecanisme de canvi d'angle de pas funciona de forma hidràulica.

Aquest tipus de sistemes augmenten la vida útil de la instal·lació, així com el seu rendiment. A més a més possibiliten l'aprofitament de règims de vents baixos.

- Regulació passiva per pèrdues aerodinàmiques:

Els aerogeneradors de regulació passiva per pèrdues aerodinàmiques

tenen les pales instal·lades en un angle fix. Tot i això el perfil de la pala està dissenyat per assegurar que, en el moment que la velocitat del vent sigui massa alta, es creï una turbulència en la part de la pala que no dona al vent. Aquesta pèrdua de sustentació evita que la força ascensional de la pala actuï sobre el rotor. A l'augmentar la velocitat del vent, l'angle d'incidència de la pala també augmentarà fins arribar al punt de començarà perdre sustentació.

Aquest tipus de sistemes eviten les parts mòbils al rotor i un complex sistema de control. Tenen l'inconvenient que el disseny aerodinàmic de les pales és molt complex.

- Regulació activa per pèrdua aerodinàmica:

Les màquines de regulació activa per pèrdua aerodinàmica són semblants a les de regulació per sistemes de pas variable, en el sentit de que les dues tenen pales que poden canviar el seu angle de pas.

La principal diferència entre elles s'observa quan la màquina amb regulació per pèrdua aerodinàmica arriba a la seva potència nominal: En el moment que el generador es vagi a sobrecarregar, la màquina girarà les pales en direcció contrària a la que ho faria la màquina amb sistema de pas variable. Augmentarà l'angle de pas de les pales per poder ubicar-les en una posició de major pèrdua de sustentació i poder consumir l'excés d'energia del vent.

El principal avantatge d'aquest sistema és que possibilita el funcionament de la màquina quasi exactament a potència nominal a totes les velocitats del vent.

- En els aerogeneradors d'eix horitzontal la torre és un dels components principals ja que suporta la gòndola i el rotor.

- Torre tubular d'acer:

Aquest és el tipus de torre més utilitzat en l'actualitat. El criteri habitual de construcció d'aquestes torres és mitjançant la unió de diversos trams cilíndrics. El nombre usual de trams per a torres de més de 60 metres és de 2 o 3. Les torres tenen un disseny troncocònic, es a dir, amb un diàmetre creixent cap a la base, per tal d'augmentar la resistència i estalviar material.

- Torre de gelosia:

Són fabricades utilitzant perfils d'acer solats. El seu principal avantatge és el seu menor cost econòmic respecte a les altres torres, ja que, només necessiten la meitat de material

que una torre tubular amb la mateixa rigidesa. Pràcticament no s'utilitzen degut al seu impacte visual a distàncies properes.

- Torre tubular de formigó:

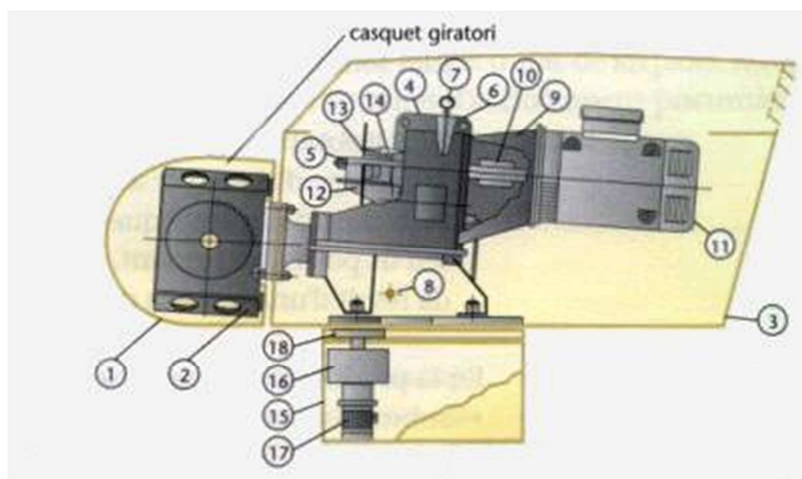
Les torres de formigó es poden realitzar amb formigó armat o bé amb formigó pretensat. El formigó pretensat presenta millors característiques pels dissenys de torres d'elevada rigidesa i és una opció econòmicament competitiva amb les torres tubulars d'acer quan aquestes s'han de dissenyar amb elevada rigidesa.

Independentment del disseny a escollir quant major sigui l'alçada de la torre, major serà la producció d'energia, encara que s'ha de tenir en compte que augmentar l'alçada, augmenta el cost i la dificultat per a la instal·lació dels equips.

Així l'alçada òptima de la torre serà funció del cost per metre de torre, de la variació del vent amb l'alçada al lloc d'implantació i del preu de venda de l'energia.

#### 4.5. Components bàsics d'un aerogenerador

Tenint en compte la gran varietat de turbines emprades per a la generació elèctrica, ens centrarem en descriure els components bàsics de la configuració de les turbines més utilitzades.



**Figura 4.4.** Parts aerogenerador d'eix horitzontal multipala (Font: xtec.cat)

NOMBRE	DESCRIPCIÓ	NOMBRE	DESCRIPCIÓ
1	Nas	10	Acoblament del generador
2	Cuba	11	Generador
3	Cabina	12	Consola de fre
4	Caixa d'engranatge	13	Disc de fre
5	Bomba d'oli	14	Guàrdia de revolucions
6	Tub d'oli	15	Torre
7	Manòmetre d'oli	16	Engranatge
8	Temperatura de l'oli	17	Motor
9	Consola del generador	18	Corona

**Taula 4.1.** Referències parts aerogenerador (Figura 4.4.)

La configuració que ofereixen la majoria de fabricants i la que podem trobar en la majoria dels parc eòlics instal·lats.

- Aerogeneradors d'eix horitzontal.
- De tres pales
- Orientades a sobrevent
- Torre tubular

Els principals components d'aquest tipus de sistemes són els representats a la figura, i es descriuen en els següents apartats.

- La gòndola, ubicada en la part superior de la torre, és l'habitatge on es troben els elements elèctrics i mecànics necessaris per tal de convertir el gir del rotor en energia elèctrica.

Es troba unida a la torre per una corona dentada que permet l'orientació del rotor en la direcció del vent. En la seva part exterior s'instal·la un anemòmetre i un penell connectats als sistemes de control de l'aerogenerador. Les gòndoles es fabriquen en acer forjat i plaques de fibra de vidre.

- El rotor és el conjunt de components d'un aerogenerador que giren fora de la gòndola. Està format principalment per tres components, que són: les pales, la caixa i el mecanisme de canvi de pas de les pales.

- Caixa:

És l'element d'unió entre les pales i el sistema de rotació (eix). Les caixes es poden classificar segons siguin rígides o basculants. En els sistemes amb caixa rígida les pales es cargolen a la caixa i aquesta es fixa rígidament a l'eix de gir. Les pales es comporten respecte al sistema de gir com una biga en voladís que transmet totes les càrregues que rep directament al tren de potència. En els sistemes amb caixa basculant, la caixa està unida al tren de potència mitjançant un suport que li permet pivotar lliurement. Aquesta peça prem moviments d'angles menors a  $\pm 10\%$  en direcció perpendicular al rotor respecte al pla de rotació. Aquest tipus de sistemes és utilitzat habitualment en aerogeneradors de dues pales.

- Pales:

Les pales són els elements encarregats de transformar la velocitat del vent incident en moviment rotatori a l'eix. En les turbines ràpides un augment del nombre de pales suposa un increment del coeficient de potència màxim. El pas d'una a 2 pales suposa un increment del 10%, de 2 a 3 pales un 3-4%, i de 3 a 4 només un 1%, per aquesta raó no és rentable utilitzar turbines de 4 pales. En el funcionament dels aerogeneradors ràpids el perfil aerodinàmic és un dels paràmetres de disseny més determinants. Els perfils més utilitzats són els mateixos que s'utilitzen de forma generalitzada en la indústria aeronàutica.

El material més utilitzat en l'actualitat per a la construcció de les pales és la fibra de vidre amb resina de polièster. El seu principal avantatge és la versatilitat de fabricació i les seves bones propietats estructurals

i de resistència a la fatiga. Tenen també un baix coeficient de dilatació i una reduïda conductivitat elèctrica el que fa que aquests materials siguin interessants per a la protecció del sistema contra els raigs.

- Mecanisme de canvi de pas:

La majoria d'aerogeneradors actuals incorporen dispositius capaços de fer girar la pala al voltant del seu eix longitudinal. Aquests dispositius tenen una funció doble, per una part controlar la potència i velocitat de gir del rotor i per una altra és capaç de frenar aerodinàmicament el sistema en cas d'avaria. Existeixen diferents sistemes de canvi de pas explicats en l'apartat de classificació dels aerogeneradors segons el control de potència.

- L'eix de baixa velocitat és el que es troba acoblat a la caixa. Gira directament a la velocitat de gir de les pales, provocada per la velocitat del vent incident. En l'extrem oposat, l'eix de baixa velocitat es troba acoblat a la caixa multiplicadora.
- La caixa multiplicadora és un element necessari per a tots aquells aerogeneradors que tenen un règim de gir diferent entre el rotor eòlic i el generador elèctric. L'objectiu de la caixa multiplicadora es clar, augmentar les revolucions per minut que ofereix l'eix de baixa velocitat per transmetre a l'eix d'alta velocitat d'aquesta manera adaptar la freqüència del generador a la de la xarxa sense que aquest hagi de tenir un nombre de pols molt elevat. Un dels paràmetres de disseny de les caixes multiplicadores és la relació de transmissió, que és el quocient entre la velocitat de gir de l'eix ràpid i la del lent. Quant menor sigui aquesta relació menor serà la mida de la caixa i el seu cost. Per a reduir la relació de transmissió es pot disminuir la velocitat del generador augmentant el nombre de pols o augmentar la velocitat de gir de la turbina.

Actualment la reducció de la mida de la caixa no és un problema de disseny crític. Existeixen caixes multiplicadores d'elevada potència (2MW) i relació de transmissió (1:100) amb rendiments i fiabilitats molt elevats.

Els engranatges de les caixes poden ser rectes o helicoïdals. Els engranatges rectes s'utilitzen en caixes multiplicadores d'eixos paral·lels mentre que els engranatges helicoïdals, que tenen un disseny més sofisticat, s'utilitzen encaixes de tipus planetari i ofereixen una relació de multiplicació major. També és possible tenir caixes de multiplicació híbrids amb engranatges rectes i helicoïdals.

Les turbines necessiten almenys dues o tres etapes de multiplicació.

- L'eix d'alta velocitat es troba acoblat a la caixa multiplicadora i al generador elèctric. Gira a la velocitat que li transmet la caixa multiplicadora, molt major que la de l'eix de baixa velocitat, per tal de no fer necessari la instal·lació d'un generador amb un nombre elevat de pols.
- La funció principal del fre mecànic és mantenir bloquejat l'eix de gir durant les operacions de posada en marxa i manteniment de l'aerogenerador. La seva constitució física consisteix en un

disc que gira solidari a l'eix de transmissió i unes sabates de fre que freguen amb el disc quan s'activen ja sigui per via elèctrica, hidràulica o mecànica.

A més a més de la funció de bloqueig alguns dissenys de frens mecànics s'utilitzen per contribuir al fre dinàmic del rotor eòlic durant el procés de parada d'emergència.

Utilitzar el fre mecànic per a contribuir als processos de parada dinàmica només està justificat en turbines de baixa o mitja potència. En màquines d'elevada potència (properes al MW) el fre mecànic no pot contribuir a la parada dinàmica ja que suposaria unes dimensions del disc de frenada excessives.

Aquest componen es pot ubicar tant en l'eix de baixa velocitat com en el d'alta.

En l'eix d'alta velocitat la potència mecànica generada pel rotor es transmet amb una elevada velocitat de gir i un parell reduït, el que permet diàmetres de fre més reduïts. L'inconvenient principal d'aquest sistema és que les dents de la caixa multiplicadora estaran sotmesos a esforços durant les parades.

Instal·lar el fre mecànic en l'eix de baixa velocitat és apropiat per turbines de baixa potència, en turbines d'elevada potència aquesta ubicació provocaria unes dimensions excessives de fre.

- El generador és l'element central del sistema elèctric dels aerogeneradors i l'element a partir del qual es dimensionen la resta d'elements i el sistema de control. Com a generador en les turbines de producció eòliques s'utilitzen quasi exclusivament les màquines de corrent altern per la seva millor relació potència/pes, la seva capacitat de produir a tensions elevades, i pels seus menors costos de manteniment front les màquines de corrent continu.

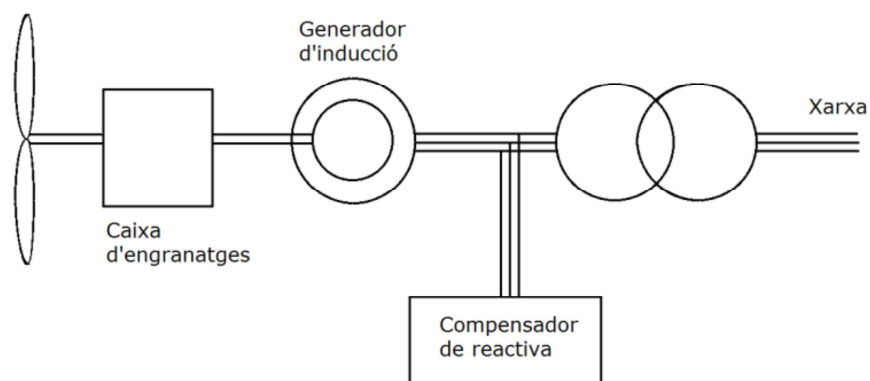
Existeixen dos tipus bàsics de generadors de corrent altern: màquines asíncrones o d'inducció, i màquines síncrones.

- Generador asíncron:

El principal inconvenient del generadors asíncrons és la necessitat de consumir energia reactiva per a la seva excitació magnètica. Com a solució a aquest problema el procediment habitual és instal·lar una bateria de condensadors ja sigui en bornes de la màquina o en el punt de connexió a la xarxa.

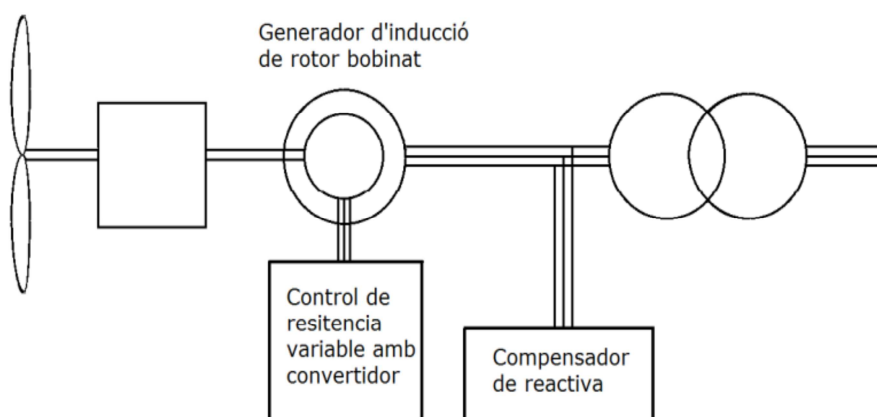
La constitució més senzilla, es la que és mostra a continuació, la de un generador asíncron amb rotor de gàbia d'esquirol. En aquest tipus de generador el rotor està constituït per una sèrie de barres de coure o alumini connectades en curtcircuit per dos anells.





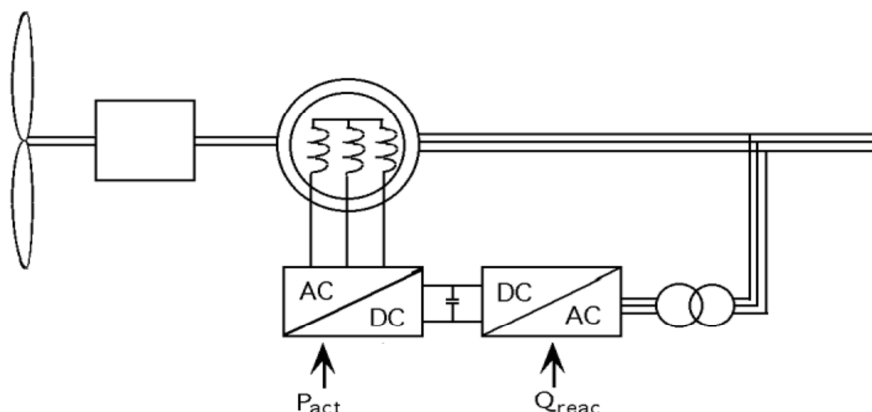
**Figura 4.5. Generador d'inducció amb compensador de reactiva. (Font: Matlab)**

Una variant d'aquest tipus d'instal·lació és la utilització d'un rotor debanat que permet afegir resistències en el rotor per poder variar la velocitat en un petit rang (10% respecte a la de sincronisme), controlada per un convertidor electrònic.



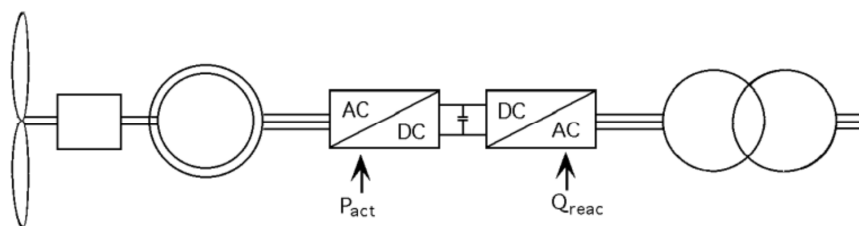
**Figura 4.6. Generador d'inducció de rotor bobinat amb control de resistència variable. (Font: Matlab)**

La tercera variant en quan a la utilització de generadors asíncrons és aquella que permet denominar al sistema com de velocitat variant. En aquest cas, es tracta d'un generador asíncron doblement alimentat i amb convertidor electrònic entre el rotor i la xarxa.



**Figura 4.7. Generador d'inducció doblement alimentat (Font: Matlab)**

Un altre sistema denominat de velocitat variant és la utilització d'un generador asíncron de rotor de gàbia, amb l'estator connectat a la xarxa mitjançant un convertidor. Així la sortida del generador a freqüència variable, es connecta a un convertidor format per rectificador i inversor i, aquest, es connecta a la xarxa a la seva freqüència.



**Figura 4.8. Generador d'inducció de rotor de gàbia amb convertidor.(Font: Matlab)**

- Generador síncron

El principal inconvenient dels generadors síncrons en els sistemes eòlics connectats directament a la xarxa és que, al ser de freqüència constant, la velocitat de gir també ha de ser-ho. Això provoca que els esforços mecànics siguin de magnituds importants al sistema de transmissió mecànica i oscil·lacions en la potència elèctrica generada. Per això els generadors síncrons s'utilitzen connectats a la xarxa mitjançant un convertidor de freqüència que permet independitzar la freqüència del generador de la de la xarxa, i que aquest treballi a velocitat variable.

Un primer esquema de muntatge, és el format per un generador síncron multipol i el convertidor electrònic. La utilització d'un generador amb elevat nombre de pols ofereix la possibilitat de reduir les etapes de multiplicació de la caixa multiplicadora o inclús eliminar-la, encara que augmenta les mides de

la màquina i el conseqüència augmentarà també el cost. És necessària també la utilització d'un petit convertidor per a l'excitació del debanat en corrent continu.

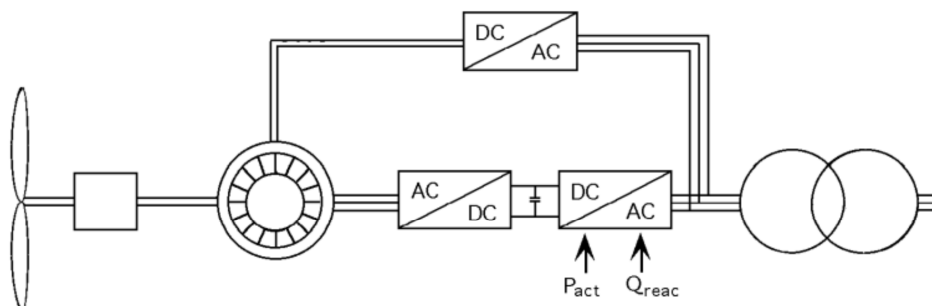


Figura 4.9. Generador síncron multipol amb convertidor i excitació del rotor amb el convertidor. (Font: Matlab)

Altres opcions de muntatge és la utilització d'un generador síncron d'ímants permanents. En aquest cas no es necessita l'alimentació del circuit inductor ja que, aquest està format per ímants. El problema d'aquest muntatge és que les màquines d'ímants permanents no poden oferir grans potències.

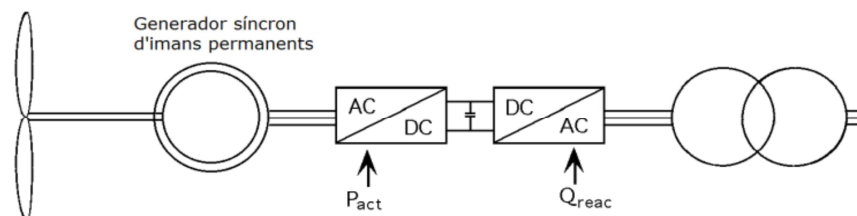


Figura 4.10. Generador síncron d'ímants permanents amb convertidor. (Font: Matlab)

El **mecanisme d'orientació** és el dispositiu que s'encarrega de girar la gòndola automàticament per posicionar-la en la direcció del vent més incident.

La classificació dels mecanismes d'orientació la podem realitzar entre mecanismes actius o passius, dels primers podem dir que utilitzen un penell o molins auxiliars per orientar l'aerogenerador, encara que no s'utilitzen per turbines eòliques. Els altres podem mencionar que utilitzen motors elèctrics o sistemes hidràulics per efectuar el moviment de la gòndola. Aquests sistemes són els utilitzats per aerogeneradors ubicats a sobrevent. Normalment estan formats per dos motors, un de gir a dretes i un altre de gir a l'esquerra. Els motors accionen un pinyó que mou l'engrenatge tipus corona sobre el que es troba unida rígidament la gòndola. Aquests sistemes són els utilitzats per aerogeneradors ubicats a sobrevent. Normalment estan formats per dos motors, un de gir a dretes i un altre de gir cap a l'esquerra. Els motors accionen un pinyó que mou l'engrenatge tipus corona sobre el que es troba unida rígidament la gòndola.

El mecanisme d'orientació actiu acostuma a dur incorporat un dispositiu per a determinar la torsió dels cables de potència que baixen des de la sortida del generador a la base de la torre.

El **controlador** d'una turbina eòlica consta de diversos ordinadors que supervisen les condicions de la turbina i recullen estadístiques sobre el seu funcionament. S'encarrega de governar el sistema d'orientació i possibilita la transmissió de dades de la turbina a un centre de control on es pot realitzar el monitoratge de tot el parc.

La **unitat de refrigeració**, és l'element encarregat de la refrigeració del generador elèctric. Per a la refrigeració del generador elèctric el més habitual és utilitzar ventiladors elèctrics, a més a més s'encarrega de la refrigeració amb oli de la caixa multiplicadora.

L'**anemòmetre** i el **penell** s'utilitzen per a mesurar la velocitat i la direcció del vent. Les senyals electròniques de l'anemòmetre són utilitzades pel controlador electrònic per a connectar l'aerogenerador quan la velocitat del vent supera el mínim necessari (5 m/s habitualment) i aturar la rotació de les pales quan la velocitat del vent excedeixi el límit (25 m/s habitualment).

Els senyals del penell són utilitzats pel controlador electrònic per a conèixer la direcció del vent i orientar així l'aerogenerador.

## 4.6. La potència del vent

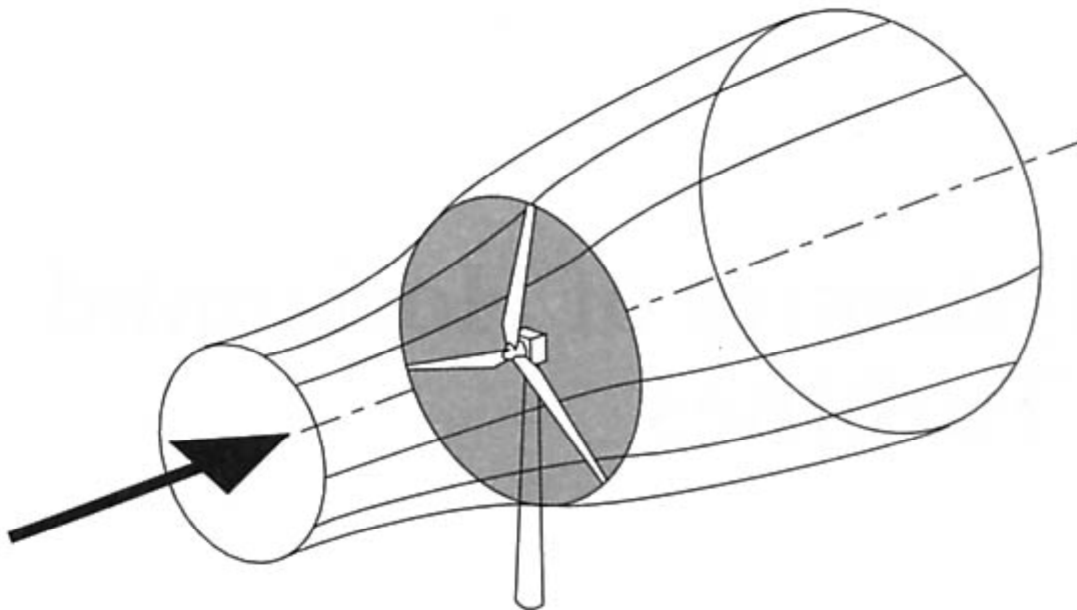
El procés de càlcul per determinar la potència del vent i pel seu aprofitament per la generació de l'energia elèctrica és realitza mitjançant un procés de transformació de l'energia cinètica del vent en energia mecànica.

## 5. Llei de Betz

### 5.1. Introducció

La llei de Betz es la següent, quan major sigui l'energia cinètica que extregui un aerogenerador del vent, major serà la pèrdua de velocitat que sofrirà el mateix a la sortida de l'aerogenerador.

Si s'intentés extraure tota l'energia disponible en el vent, l'aire sortiria de la turbina amb velocitat nul·la, o sigui que no podria abandonar la turbina. En aquesta situació no s'extrauria cap energia del vent, ja que també s'estaria impeding l'entrada d'aire al rotor del aerogenerador. L'altra situació extrema es donaria si el vent passés a través del rotor sense perdre res de velocitat. En aquest cas tampoc s'extrauria energia del vent.



### 5.1. Tub de corrent que es generat al travessar la turbina

Es pot assumir llavors que existeix alguna manera de frenar el vent que travessa l'aerogenerador que es troba entremig d'aquestes dos situacions extremes, i que sigui la més eficient a l'hora de la conversió de l'energia disponible en el vent en energia mecànica útil. Succeeix llavors que existeix una resposta simple a tot això i es que un aerogenerador ideal frenaria al vent fins a  $2/3$  de la seva velocitat.

Per entendre el perquè d'aquesta solució, cal mirar la llei física fonamental per l'aerodinàmica dels aerogeneradors:

### 5.2. Llei de Betz

La llei de Betz va ser formulada per primera vegada pel físic alemany Albert Betz en 1919. En el seu llibre *WindEnergie*, publicat al l'any 1926, es pot trobar bona part del coneixement que en aquell moment tenia sobre l'energia eòlica i els aerogeneradors. És sorprenent que es pugui fer una afirmació general tan taxativa que es pugui aplicar a qualsevol aerogenerador amb un rotor en forma de disc.

La llei de Betz indica que pugui convertir-se com a màxim el  $16/27$  (el 59,26 %) de l'energia cinètica del vent en energia mecànica útil usant un aerogenerador. A continuació es demostrarà aquesta llei, seguint el raonament que el propi Betz va desenvolupar en el seu llibre per explicar la llei. No es farà una demostració exhaustiva del teorema, sinó que es seguirà la línia de raonament realitzada per Betz en una forma àgil per presentar una idea clara i concreta de com es demostra aquest teorema.

### 5.3. Demostració

Es considera el que es bastant raonable, que la velocitat promig del vent a través del àrea del rotor es el promig de la velocitat del vent sense pertorbar abans de la turbina eòlica,  $V_1$ , i la velocitat del vent després de travessar el pla del rotor,  $V_2$ , o sigui  $(V_1 + V_2)/2$ . En aquest llibre anteriorment mencionat, Betz ofereix una demostració d'aquesta consideració.

La massa de la corrent d'aire que travessa el rotor durant un segon està donada per:

$$m = \frac{1}{2} \rho A (V_1 + V_2)$$

**Equació 5.1. Massa de corrent d'aire a través del rotor**

on la  $m$  es la massa d'aire per segon,  $\rho$  es la densitat del aire,  $A$  es l'àrea escombrada pel rotor i  $(V_1 + V_2)/2$  es la velocitat del vent promig a través de l'àrea del rotor. Per altre costat, la potència del vent extreta pel rotor, d'acord amb la segona llei de Newton, val:

$$P = \frac{1}{2} \rho A (V_1^2 + V_2^2)$$

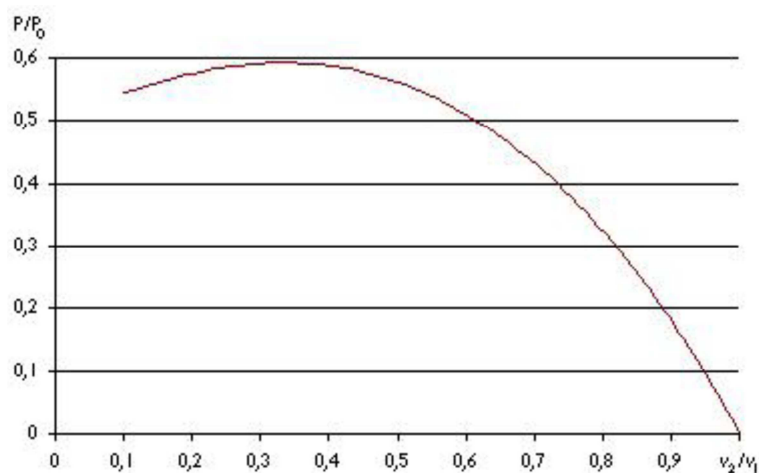
**Equació 5-2. Potència extreta del vent, segons la llei de Newton**

Comparant ara la potència que es pot extraure del vent ( $P = \rho/4 A ((V_1 + V_2^2)(V_1 + V_2))$ ), i al potència total del vent sense pertorbar, la relació que es troba està donada per:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{V_1}{V_2} \right) \left( 1 + \frac{V_1}{V_2} \right)$$

**Equació 5.3. Relació de potències**

Després es fa una gràfica de la relació  $\frac{P}{P_0}$  de l'expressió anterior, en funció de  $V_2/V_1$ , s'obté que la corba que es pot apreciar en la següent figura.



**Figura 5.2.** Corba del ràtio  $\frac{P}{P_0}$  en funció de  $V_2/V_1$

De la gràfica de la (numeració de la figura) es pot veure que la relació  $P/P_0$  arriba al seu valor màxim per  $V_2/V_1 = 1/3$ , i que el seu valor màxim de la potencia extreta del vent es de 0,5926 de la potencia del vent.

**DOCUMENT N°3:**  
**ESTUDI DEL POTENCIAL EÒLIC DISPONIBLE**



## **6. Objecte de l'estudi**

L'objecte principal de l'estudi dels vents es fer un anàlisi acurat de la zona on volem instal·lar el aerogenerador a fi de determinar el potencial eòlic de la zona.

Per arribar a aquesta conclusió es farà una recerca de dades de l'estació anemomètrica mes propera a la ubicació de la micro-planta, en aquest cas Font Rubí. Aquesta recopilació de dades ha estat de dos anys anteriors a la redacció d'aquest projecte extreta de l'Atlas Eòlic de Catalunya.

## **7. Dades recollides**

Com a dades de partida per fer un càlcul aproximat de la Potència elèctrica que podrem generar en la nostra micro-planta hem valorat diferents paràmetres del vent com poden ser: temperatura, angle de la direcció del vent, humitat relativa...

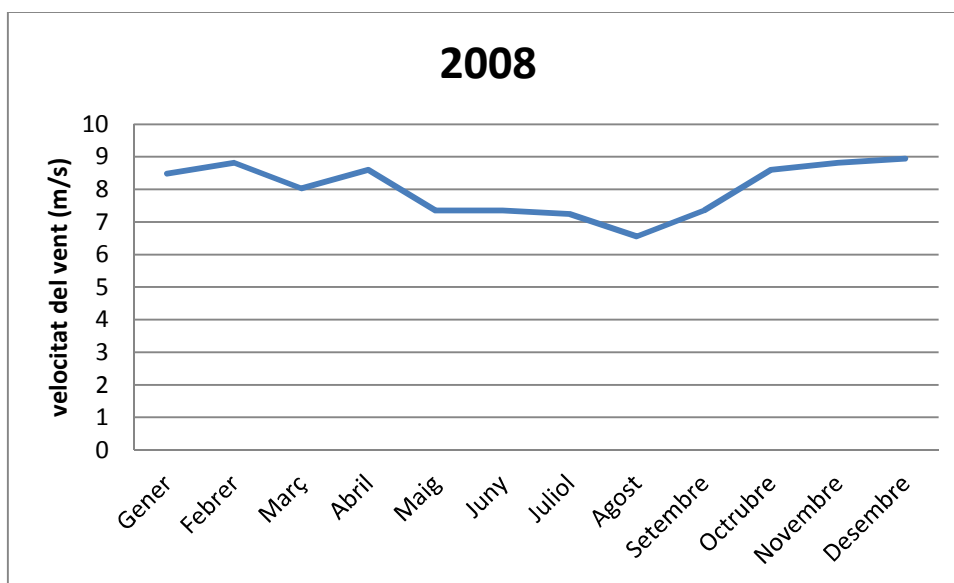
Amb totes aquestes dades avaluarem la zona proposta per tal de poder afirmar que la instal·lació del aerogenerador serà energèticament rentable.

## **8. Processament de dades**

A continuació es mostren els valors meteorològics del període transcorregut des de l'any 2009 fins a Maig 2011.

ANY 2008		
MES	Velocitat vent (m/s)	Direcció
Gener	8,48	NW
Febrer	8,82	SE
Març	8,03	SE
Abril	8,6	S
Maig	7,35	SE
Juny	7,35	NW
Juliol	7,24	NW
Agost	6,56	O
Setembre	7,35	NW
Octubre	8,6	SE
Novembre	8,82	NW
Desembre	8,94	S
Mitjana Anual	8,012	NW

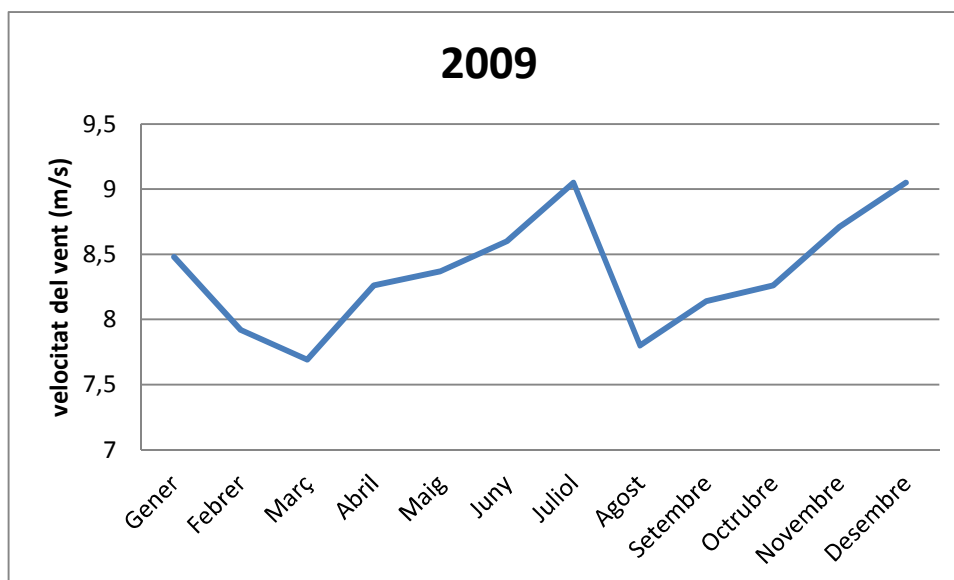
**Taula 8.1 . Dades del vent Any 2008**



**Gràfica 8.1. Velocitats vent 2008**

ANY 2009		
MES	Velocitat vent (m/s)	Direcció
Gener	8,48	NW
Febrer	7,92	NW
Març	7,69	NW
Abril	8,26	NW
Maig	8,37	S
Juny	8,6	S
Juliol	9,05	S
Agost	7,8	S
Setembre	8,14	S
Octubre	8,26	S
Novembre	8,71	NW
Desembre	9,05	NW
Mitjana Anual	8,4	NW

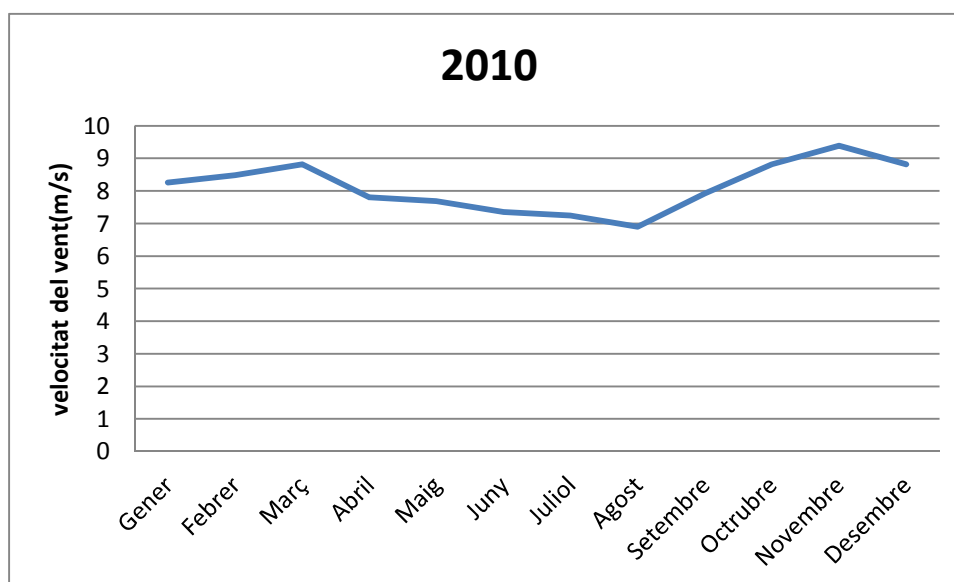
**Taula 8.2. Dades del vent Any 2009**



**Gràfica 8.2. Velocitats vent 2009**

ANY 2010		
Mes	Velocitat vent (m/s)	Direcció
Gener	8,26	NW
Febrer	8,48	NW
Març	8,82	SE
Abril	7,8	NW
Maig	7,69	SE
Juny	7,35	SE
Juliol	7,24	O
Agost	6,9	S
Setembre	7,92	S
Octubre	8,82	SE
Novembre	9,39	NE
Desembre	8,82	S
Mitjana Anual	8,1	SE

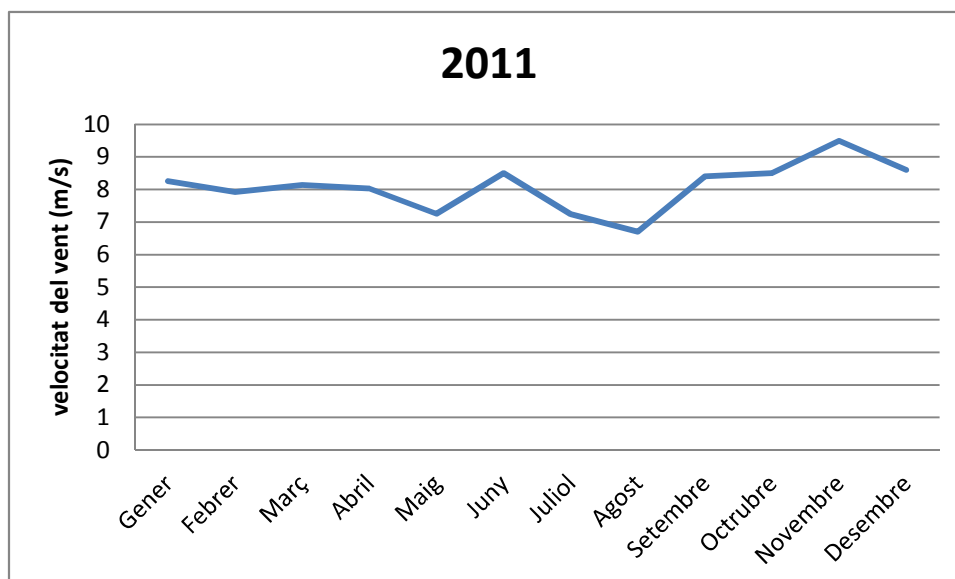
**Taula 8.3. Dades del vent Any 2010**



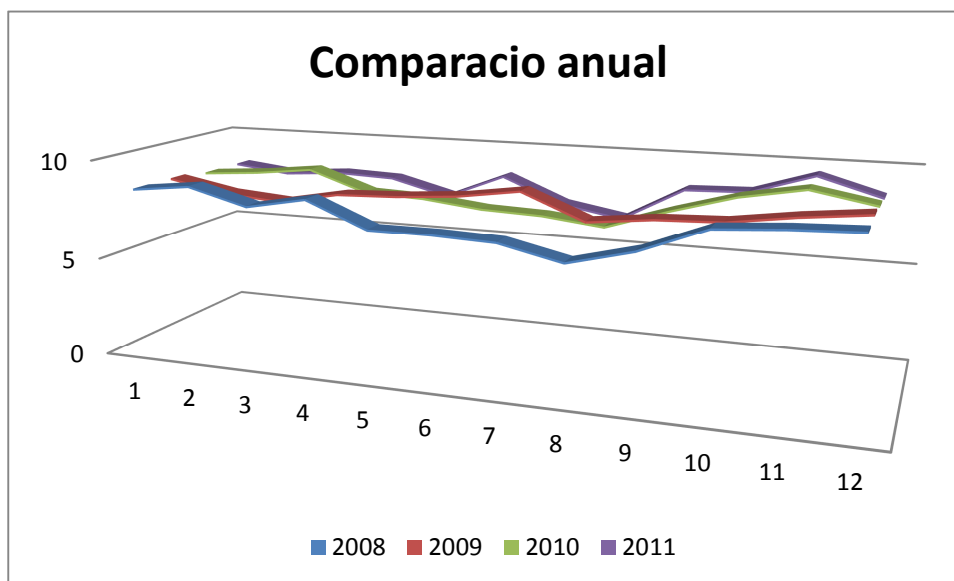
**Gràfica 8.3. Velocitats vent 2010**

ANY 2011		
MES	Velocitat vent (m/s)	Direcció
Gener	8,26	NW
Febrer	7,92	O
Març	8,14	S
Abril	8,03	SE
Maig	7,25	SE
Juny	8,5	SE
Juliol	7,24	O
Agost	6,7	S
Setembre	8,4	S
Octubre	8,5	SE
Novembre	9,5	NE
Desembre	8,6	S
Mitjana Anual	8,08	SE

**Taula 8.4. Dades del vent Any 2011**



**Gràfica 8.4. Velocitats vent 2011**



**Gràfica 8.5. Comparació velocitats vent (2008-2011)**

## 9. Aparellatge utilitzat

Per processar les dades dels 5 mesos anteriors a la redacció d'aquest projecte, s'ha emprat una estació meteorològica multifuncional IQ3000 (Digital). Aquesta estació ens permet recollir diferents paràmetres tal com poden ser:

- Direcció del vent
- Velocitat del vent
- Temperatura
- Humitat relativa
- Índex de pluviositat

A continuació es citaran dues de les grans avantatges d'aquesta estació:

- S'auto calibra mitjançant software

- Els paràmetres recollits es poden visualitzar a una pàgina web



Figura 9.1. Estació meteorològica model IQ3000 (Font: [www.quimisur.com](http://www.quimisur.com))

### 9.2.1. Components

L'estació meteorològica es subministra amb:

- Armari IP65 amb datalogger IQ3000
- Sistema d'alimentació autònoma
- Estructura de suport dels sensors i els panels solars. Pressa de terra
- Documentació i software per al usuari

### 9.2.2. Conjunt de sensors

#### 9.2.2.1. Anemòmetre IQ-BUS

#### 9.2.2.2. SENSOR

L'anemòmetre IQ-BUS, es un equip digital microcontrolat que mesura la velocitat del vent incident. Disposa d'un microcontrolador intern que li permet la realització de lectures de gran precisió.

#### 9.2.2.3. *MESURES I FUNCIONAMENT*

El microcontrolador que incorpora li permet la pressa de mostres cada 250 mil·lèsimes de segon, així com el processament de les mateixes per al càlcul de diferents valors d'enginyeria, tals com:

- Velocitat de ràfega
- Velocitat màxima
- Velocitat mitja
- Velocitat mínima
- Desviació típica
- Freqüència

Inclou el processament de lectures obtenint:

- Càlcul d'histogrames de velocitat
- Càlcul de lectures indirectes:
- Sensació tèrmica
- Punt de rosada
- Evapotranspiració de referència

#### 9.2.2.4. *MATERIALS*

Fabricat en acer inoxidable 18/10 i aluminis anoditzats d'alta qualitat per la seva utilització en entorns més exigents inclòs intempèrie i salinitat de costes i ports.

#### 9.2.2.5. *ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES*

- Rang de mesura: 0 a 216 Km/h (+/- 0,684 Km/h a 216 Km/h)
- Precisió: 1/2 Hz
- Pes aprox.: 700 gr.
- Rotor: 310mm de diàmetre
- Dimensions:
  - Alçada: 245mm
  - Ample (Cos): 80mm



- Ample (Cassoletes): 182mm
- Diàmetre cassoletes: 60mm

#### 9.2.2.6. *CALIBRACIÓ*

Calibrat individualment en túnel del vent, amb un patró calibrat per el INTA (Institut Nacional de Técnica Aeroespacial). Els seus processos de fabricació i traçabilitat compleixen els requeriments del estàndard UNE-EN ISO 9001:2000 assegurant una gran qualitat en el equip i el seu funcionament. Igualment compleix amb els estàndards recomanats per l'Organització Meteorològica Mundial (OMM).



**Figura 9.2. Anemòmetre IQ-BUS (Font: [www.quimisur.com](http://www.quimisur.com))**

#### 9.2.3. **Veleta IQ-BUS**

##### 9.2.3.1. *SENSOR*

Equip digital microcontrolat. Aquest microcontrolador intern li permet la realització de lectures de gran precisió.

##### 9.2.3.2. *MESURES I FUNCIONAMENT*

La potència de càlcul que li ofereix el microcontrolador intern li permet la presa de mostres cada 250 mil·lèsimes de segon amb las que processar les següents dades:

- Direcció instantània
- Direcció mitjana angular
- Direcció mitjana angular acumulada
- Desviació típica angular

- Inclou el processament de lectures obtenint:
- Càlcul d'histogrames de direcció:
  - Minuts direcció NORT
  - Minuts direcció NORTEST
  - ....

#### 9.2.3.3. *MATERIALS*

Fabricat en acer inoxidable 18/10 i aluminis anoditzats d'alta qualitat per la seva utilització en entorns més exigents inclòs intempèrie i salinitat de costes i ports.

#### 9.2.3.4. *ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES*

- Rang de mesura: 0 a 360° (sense punts morts)
- Precisió: 1,41°
- Resolució: 8 bits
- Alimentació: via bus de dades
- Consum típic 0,3 mA, en repòs 0,015mA
- Pes aprox.: 700gr.
- Rotor: 310mm
- Detecció de posició mitjançant transductors òptics controlats per microcontrolador
- Dimensions:
  - Alçada: 380 mm
  - Ample (Cos): 80mm
  - Ample (Vela): 310 mm

#### 9.2.3.5. *VERIFICACIÓ*

Verificada individualment amb 256 posicions. Els seus processos de fabricació i traçabilitat compleixen els requeriments del estàndard UNE-EN ISO 9001:2000 assegurant una gran qualitat en el equip i el seu funcionament. Igualment compleix amb els estàndards recomanats per l'Organització Meteorològica Mundial (OMM).



**Figura 9.3. Veleta IQ-BUS (Font: [www.quimisur.com](http://www.quimisur.com))**

### **9.2.4. Radiòmetre IQ-BUS**

#### *9.2.4.1 SENSOR*

Equip digital microcontrolat, basat en sensor de precisió de silici. Aquest microcontrolador intern li permet la realització de lectures de gran precisió.

#### *9.2.4.2. MESURES I FUNCIONAMENT*

La potència de càlcul que li ofereix el microcontrolador intern li permet la presa de mostres cada 250 mil·lèsimes de segon amb las que processar les següents dades:

- Radiació solar
- Minuts sol

Inclou el processament de lectures obtenint:

- Càlcul de lectures indirectes:
  - Evapotranspiració de referència

#### *9.2.4.3. MATERIALS*

Fabricat en aluminis anoditzats d'alta qualitat per la seva utilització en entorns més exigents inclòs intempèrie i salinitat de costes i ports. Filtre suport de tefló per al fotodíode de silici.

#### 9.2.4.4. *ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES*

- Rang espectral: 320 a 1000 nm
- Sensibilitat: 0,1 W/m<sup>2</sup>
- Rang de temperatura: -20 a 60°C
- Temps de resposta: 4,5 s.
- Camp sensible: 180°
- Rang de mesura: 0 – 2000 W/m<sup>2</sup>
- Precisió: +/- 2%
- Pes aprox.: 300 gr.

- Dimensions:
  - Alçada: 42,6 mm
  - Diàmetre: 79,2 mm

#### 9.2.4.5. *CALIBRACIÓ*

Calibració independent per a 5 rangs del espectre de radiació solar. Certificat individual. Els seus processos de fabricació i traçabilitat compleix els requeriments del estàndard UNE-EN ISO 9001:2000 assegurant una gran qualitat en el equip i el seu funcionament. Igualment compleix amb els estàndards recomanats per l'Organització Meteorològica Mundial (OMM).



Figura 9.4. Radiòmetre IQ-BUS (Font: [www.quimisur.com](http://www.quimisur.com))

### 9.2.5. Pluviòmetre IQ-BUS

#### 9.2.5.1. *SENSOR*

Equip digital microcontrolat. Aquest microcontrolador intern li permet la realització de lectures de gran precisió.

#### 9.2.5.2. *MESURES I FUNCIONAMENT*

La capacitat de processament que ofereix el microcontrolador permet entre altres avantatges el poder factoritzar l'equip en 5 trams de pluja incident. I amb la temporització de les basculacions de la cullereta, podem subministrar dades d'intensitat de pluja.

Ofereix les següents dades:

- Pluja acumulada
- Minuts de pluja
- Intensitat de pluja instantània
- Intensitat de pluja màxima

Inclou el processament de lectures obtenint:

- Càlcul de lectures indirectes:
  - Evapotranspiració de referència

#### 9.2.5.3. *MATERIALS*

Fabricat en acer inoxidable 18/8 i aluminis anoditzats d'alta qualitat i pintura epoxi per la seva utilització en entorns més exigents inclòs intempèrie i salinitat de costes i ports. Filtre suport d'acer. Evacuació instantània i automàtica de la pluja.

#### 9.2.5.4. *ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES*

- Dimensions:
  - Pes aprox.: 10Kg
  - Alçada: 330 mm
  - Diàmetre (Cos): 255 mm
  - Embut col·lector: 400 cm<sup>2</sup>

#### 9.2.5.5. *CALIBRACIÓ*

Calibrat i certificat individualment. Calibració independent de 5 rangs d'intensitat de pluja. Els seus procés de fabricació i traçabilitat compleix els requeriments del estàndard UNE-EN ISO 9001:2000

assegurant una gran qualitat en el equip i el seu funcionament. Igualment compleix amb els estàndards recomanats per l'Organització Meteorològica Mundial (OMM).



**Figura 9.5. Pluviòmetre IQ-BUS (Font [www.quimisur.com](http://www.quimisur.com))**

#### **9.2.6. Sonda de temperatura i humitat ambiental IQ-BUS**

##### 9.2.6.1. *SENSOR*

Sensors de temperatura i humitat relativa dels fabricants Vaisala i Rottronix.

#### 9.2.6.2. *MESURES I FUNCIONAMENT*

Gestió d'alimentació i lectura digital controlada per IQ3000. La conversió de la senyal analògica procedent d'aquest sensor permet l'obtenció dels següents paràmetres:

- Temperatura
- Humitat relativa
- El posterior processament dels mateixos permet l'obtenció de valors estadístics típics en registres de meteorologia:
  - Temperatura màxima
  - Temperatura mitja
  - Temperatura mínima
  - Histogrames de temperatura:
    - Hores fred
    - Hores gelada
    - etc.
- Humitat relativa màxima
- Humitat relativa mitja
- Humitat relativa mínima
- Càlcul de lectures indirectes:
  - Sensació tèrmica
  - Punt de rosada
  - Evapotranspiració de referència

#### 9.2.6.3. *COMPONENTS*

S'inclou protector de radiació fabricat en alumini anoditzat d'alta qualitat, amb gran refracció i dispersió de calor.

#### 9.2.6.4. *ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES*

- Dimensions:  
(Suport)

- Pes aprox.: 850 gr.
- Alçada: 210 mm
- Diàmetre: 140 mm



**Figura 9.6. Sensor de temperatura i humitat relativa IQ-BUS**

(Font [www.quimisur.com](http://www.quimisur.com))

### **9.2.7. Sonda de pressió IQ-BUS**

#### *9.2.7.1. SENSOR*

Els sensors baromètrics inclosos en les Estacions Meteorològiques d'Instrumentació Quimisur són PTB110. Amb diferents rangs de funcionament segons l'alçada d'instal·lació.

#### *9.2.7.2. MESURES I FUNCIONAMENT*

Gestió d'alimentació i lectura digital controlada per Central d'Adquisició de dades.

El posterior processament permet l'obtenció de valors estadístics típics en registres de meteorologia:

- Pressió màxima
- Pressió mitja
- Pressió mínima



### 9.2.7.3. *ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES*

- Dimensions:
  - Pes aprox.: 90 gr.
  - Alçada: 25 mm
  - Amplada: 70 mm
  - Llargària: 85 mm



**Figura 9.7. Sensor de pressió IQ-BUS (Font [www.quimisur.com](http://www.quimisur.com))**

**DOCUMENT N°4:**  
**PROJECTE EXECUTIU**

## 10. Memòria tècnica

### 10.1. Titular de la petició i persona que la representa

Peticionari:

Titular:

NIF:

Domicili social:

CP: 08736 Font-Rubí

Alt Penedès - Espanya

Representant:

Nom i cognom:

DNI:

### 10.2. Domicili social, de notificacions i de la instal·lació

La zona que donarà lloc a la instal·lació es situa a la comarca del Alt Penedès, concretament a la zona de Font Rubí ( X= 380446,4; Y= 4589245,3 ), 640 *msnm*<sup>1</sup>.

### 10.3. Potència màxima admissible a autoritzar i contractar

Potència màxima admissible: 27,60 kW

Potència a autoritzar: 27,60 kW

Potència a contractar: 27,713kW (40A) (3 · 230/400V)

---

<sup>1</sup> significat msnm: metres sobre nivell mar

## 10.4. Pressupost total

El pressupost total de la instal·lació és de 211.689,59 €

## 10.5. Justificació

Generar energia renovable mitjançant una micro-eòlica per tal de reduir la potència a transportar en la línia, aconseguint de forma individualitzada i amb la suma de més instal·lacions eòliques la reducció d'emissions de gasos de efecte hivernacle tal i com indica el *Protocol de Kioto*<sup>2</sup>.

Tenim que tindre en compte que l'actual funcionament del sistema elèctric d'Espanya, amb la liberalització del mercat elèctric, permet que les instal·lacions de producció d'electricitat a partir de fonts renovables puguin transferir al sistema, a través de la companyia distribuïdora d'electricitat, la seva producció o excedent d'energia elèctrica.

## 10.6. Antecedents

Al tractar-se d'una obra de nova construcció en un solar que no hi havia cap edificació anterior, no s'hi presenten cap sèrie d'antecedents a tenir en compte.

## 10.7. Normatives i disposicions

### 10.7.1. Normativa de la producció en règim especial

Llistat cronològic de les normatives que afecten a la *instal·lació de parcs eòlics*

- DOGC 2257 de 18/09/1996

Decret 308/1996, de 2/10

Regulació de les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments  
D'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica.

---

<sup>2</sup> El protocol de Kyoto sobre el canvi climàtic és un acord internacional que té per objectiu reduir les emissions de sis gasos provocadors de l'escalfament global: diòxid de Carboni (CO<sub>2</sub>), gas metà (CH<sub>4</sub>) i òxid nitrós (N<sub>2</sub>O), a més de tres gasos industrials fluorats: hidrofluorocarbonats (HFC), perfluorocarbonis (PFC) i Hexafluorur de sofre

(SF6), en un percentatge aproximat d'un 5%, dins del període que va des del any 2008 al 2012, en comparació a les emissions a l'any 1990.

Procediment administratiu per a l'autorització de les instal·lacions de producció d'energia elèctrica en règim especial.

- BOE 285 de 28/11/1997

Llei 54/1997, de 27/11

Regulació del sector elèctric

- BOE 310 de 27/12/2000

Reial Decret 1955/2000 de 01/12

- DOGC 3664 de 26/06/2002

Decret 174/2002 de 11/06

Regulació de la implantació de l'energia eòlica a Catalunya.

- BOE 224 de 18/09/2002

Reial Decret 842/2002 de 2/08

Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió.

- BOE 75 de 27/03/2004

Reial Decret 436/2004 de 12/03

Metodologia per a l'actualització i sistematització del règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial.

Modifica:

- Reial Decret 2019/1997, de 26 de desembre. "Organització i regulació del mercat de producció d'energia elèctrica".

- DOGC 4205 de 26/08/2004

Decret 363/2004 de 24/08

Procediment administratiu per a l'aplicació del Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió.

- DOGC 4852 de 29/03/2007

Decret 74/2007 de 27/03

Modifica:

Reial Decret 363/2004, de 24 de juliol. “Procediment administratiu per a l’aplicació del Reglament Electrotèctic de Baixa Tensió”.

- BOE 126 de 26/05/2007

Reial Decret 661/2007 de 25/05

Regulació de l’activitat de producció d’energia elèctrica en règim especial.

- BOE 298 de 8/12/2010

Reial Decret 1614/2010 de 7 de desembre.

Regulació i modificació de determinats aspectes relatius a l’activitat de producció d’energia elèctrica a partir de tecnologia eòlica.

- BOE 312 de 24/12/2010

Reial Decret 14/2010 de 23 de desembre.

Mesures urgents per a la correcció del dèficit tarifari del sector elèctric.

Modifica:

- Llei 54/1997 de 27 de novembre. “Sector Elèctric”.
- Real Decret 661/2007, de 25 de maig. “Regulació de l’activitat de producció d’energia elèctrica en règim especial”.
- Real Decret 1164/2001, de 26 d’octubre. “Tarifes d’accés a les xarxes de transport i distribució d’energia elèctrica”.

### 10.7.2. Normativa mediambiental

- PEIN ( Pla d’Espais d’Interès Natural )

Creat pel Departament de Medi Ambient i Habitatge, de la Generalitat de Catalunya. Estableix un sistema d’àrees protegides per garantir la conservació de la biodiversitat i promoure l’ús sostenible dels recursos naturals.

- Mapa de Recursos Eòlics

Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya.  
Identifica les zones de Catalunya amb més potencial eòlic.

- ZEPA

( Zones d'especial protecció per a les aus )  
Ministeri del Medi Ambient

- Xarxa Natura 2000

Xarxa ecològica europea per a la conservació de la biodiversitat.

- Llei 16/2002, de 28 de Juny

De protecció contra la contaminació acústica.

- Llei 10/1998

De residus

- Decret 93/1999

Procediment de gestió de residus.

## 10.8. Descripció de la instal·lació

### 10.8.1. Característiques bàsiques

La instal·lació constarà d'un emplaçament privilegiat, en tot cas es contemplen possibles modificacions del terreny per tal de que el accessos siguin els necessaris per l'execució de la obra i poder desenvolupar la activitat prevista, la tecnologia de generació eòlica serà mitjançant un aerogenerador asíncron de potència 30kW, per tal d'abastir el consum demanat per el complex del peticionari.

Seguidament es pot mencionar, que la instal·lació constarà d'un edifici de control i maniobra, que albergarà al seu interior un transformador per serveis auxiliars, un magatzem per eines i peces per la possible reparació d'alguna averia i la oficina de control i comandament de la micro-planta, aquesta podrà visualitzar les dades d'una estació meteorològica professional per tal de conèixer en tot moment la predisposició del vent, concretament la seva freqüència i velocitat en temps real a més d'altres paràmetres com la temperatura, humitat relativa, e índex de pluviositat, per tal de poder orientar l'aerogenerador en tot moment i poder treure el màxim rendiment del mateix.

D'altre banda es necessari el disseny d'una línia interna soterrada de 1,15 km de longitud que connecta la turbina eòlica amb un xarxa de mitja tensió de 25kV de la companyia FECSA ENDESA, aquesta complirà la normativa vigent per xarxes de mitja tensió, tan mateix el sistema de proteccions romandran establertes per la mateixa normativa anteriorment mencionada. Aquestes proteccions s'allotjaran a l'edifici de comandament i control.

### 10.8.2. Ús i destí

L'ús i el destí d'aquesta instal·lació es l'aportació d'energia elèctrica a partir de fonts renovables a la xarxa de distribució, amb la finalitat de disminuir la potència injectada en la línia, mitjançant micro-eòliques.

### 10.9. Definició de les prestacions

En aquest capítol es defineix la potència que s'instal·larà en l'aerogenerador prèviament realitzant un estudi de les necessitats energètiques de l'habitatge per determinar la potència mínima necessària i un estudi eòlic per definir l'emplaçament i la velocitat del vent.

Abans de fer aquests estudis cal comentar que l'aerogenerador objecte de l'instal·lació serà una màquina d'eix horitzontal amb rotor a sobrevent ja que posseeix una major eficiència que les màquines d'eix vertical.

### 10.10. Estudi previ a la selecció de la potència

Per poder definir les prestacions de l'aerogenerador cal estudiar la potència elèctrica necessària d'un habitatge tipus a la que hagi de proveir d'electricitat i la potència eòlica de la zona on s'ubiqui aquest.

#### 10.10.1. Estudi energètic d'un habitatge tipus

L'estudi de la potència elèctrica consisteix a sumar les potències que consumeixen tots els aparells elèctrics d'una casa, però pel fet que no estaran connectats tots els aparells al mateix temps, cal ponderar aquest valor per un coeficient de simultaneïtat  $F$ . A continuació es mostra a la Taula 11.1 la llista de tots els aparells elèctrics i de la il·luminació detallant la potència que consumeixen i les hores que s'estima que estiguin connectats. Coneixent la potència que consumeixen i el temps mitjà que estaran connectats per dia es calcula en la mateixa taula l'energia mitja consumida per cada un d'ells.



APARELLS	POTENCIA (W)	HORES CONSUM (h/dia)	TOTAL (W·h/dia)
Frigorífic	200	24	4800
Rentavaixelles	600	1	600
Batedora	300	0,25	75
Rentadora	1200	0,5	600
Torradora	800	0,25	200
Forn	1800	0,25	450
Televisions	95	3,5	332,5
DVD	50	1	50
Mini-cadena	85	1	85
Planxa	900	0,5	450
Bomba de calor	900	0,5	450
Ordinador	150	0,9	135
IL·LUMINACIÓ	POTENCIA (W)	HORES CONSUM (h/dia)	TOTAL (W·h/dia)
Cuina	100	2,5	250
Bany	100	1,5	150
Habitació-I	100	1,5	150
Habitació-II	100	1	100
Habitació-III	100	1	100
Menjador-Estar	150	4	600
Passadís	100	0,25	25
Rebedor	60	0,25	15
Terrassa-I	60	0,25	15
Terrassa-II	60	0,25	15
Terrassa-III	60	0,25	15
Safreig	100	1	100
<b>SUBTOTAL (kW)</b>	<b>8,17</b>		<b>9,7625</b>

SUBTOTAL	8.17 kW
POTÈNCIA A PREVEURE	9.2kW
NÚMERO VIVENDES	3
SIMULTANEÏTAT	0,75
POTÈNCIA ACTIVA RESULTANT	20.70kW
FACTOR DE POTENCIA	0,8
POTENCIA APARENT RESULTANT	25.88kVA

Taula 10.1. Estudi de la potència elèctrica d'una casa tipus (potència instal·lada)

Com s'ha esmentat anteriorment la potència que consumeixen tots els aparells o potència instal·lada no correspon amb la potència mínima que ha de ser capaç de subministrar l'aerogenerador. Segons la equació 11-2. la potència mínima és la potència elèctrica total ponderada per un coeficient de simultaneïtat  $F$ . S'estima un coeficient de simultaneïtat del 75%, és a dir, com a màxim es consumeix el 75% de la potència mínima instal·lada.

$$P_{\text{mínima}} = F \cdot P_{\text{instal·lada}} = 0,75 \cdot 8,17 \text{ kW} = 6,13 \text{ kW}$$

**Equació 10.1. Potència mínima**

Segons ITC-BT-10 amb un número de vivendes de tres, el seu coeficient de simultaneïtat es 1, per tant:

$$P_{\text{vivendes}} = P_{\text{mínima}} \cdot C_{\text{simultaneïtat}} \cdot \text{nombre de vivendes}$$

$$P_{\text{vivendes}} = 6,13 \text{ kW} \cdot 1 \cdot 3 = 18,39 \text{ kW}$$

**Equació 10.2. Potència vivendes**

A continuació es mostra una Taula descriptiva segons ITC-BT 25, on s'indiquen seccions dels conductors, intensitat nominal dels magnetotèrmics, caiguda de tensió permissíble per circuit..., etc

## Repartiment de Càrregues i Característiques dels Circuits

Grau d'electrificació		Circuit n°	Detall destinació	secció mínima (mm2)	tub Φ (mm)	Repartiment de càrregues per presa	Classe de presa	Coefficient de simultaneïtat (coef. S)	Coefficient d'utilització (coef. U)	n° de Punts per circuit	PIA Intensitat Nominal [A]	P = n.Ia.Cs.Cu (kW)	I= P/V <sub>ef</sub> (A)	L= C.S.IV / V <sub>ef</sub> .P (m)		
n°	n°															
		(sup. >160 m2)  ELEVADA = 9.200 [W]	17	C1	Destinat a punts de llum per a enllumenat	1,5	16	200	Punto de luz (10A)	0,75	0,50	30	10	1.275	6,16	52,28
			19	C2	Destinat a preses de corrent d'ús general i frigorífic	2,5	20	3.450	Base de enchufe (16A) 2p +T	0,20	0,25	20	16	3.278	15,83	33,89
			1	C3	Destinat a l'alimentació de cuina elèctrica i forn elèctric	6	25	5.400	Base de enchufe (25A) 2p +T	0,50	0,75	2	25	2.025	9,78	131,66
			2	C4	Destinat a electrodomèstics d'alt consum (rentadora, rentavaixelles i termos elèctric)	4	20	3.450	Base de enchufe (16A) 2p +T	0,66	0,75	3	20	3.416	16,50	52,04
			3	C5	Destinat a preses de corrent de banys i bases auxiliars de cuina	2,5	20	3.450	Base de enchufe (16A) 2p +T	0,40	0,75	6	16	3.105	15,00	35,78
			0	C6	Circuit adicional al C1 (per cada 30 punts de llum)	1,5		200	Punto de luz (10A)	0,75	0,75	30	10	0	0,00	0,00
			0	C7	Circuit adicional al C2 (per cada 20 preses de corrent d'ús general) o (sup>160m2)	2,5		3.450	Base de enchufe (16A) 2p +T	0,20	0,25	20	16	0	0,00	0,00
			0	C8	Destinats a la instal·lació de calefacció elèctrica	6	25	5.750	Base de enchufe (10A)	-	-	-	25	0	0,00	0,00
			1	C9	Destinats a la instal·lació d'Aire Condicionat	6	25	5.750	Base de enchufe (10A)	-	-	-	25	5.750	27,78	46,37
			0	C10	Destinats a la instal·lació de Assecadora	2,5	20	3.450	Base de enchufe (16A) 2p +T	1,00	0,75	1	16	0	0,00	0,00
			0	C11	Destinat al sistema d'automatització, gestió tècnica de l'energia i de seguretat	1,5		2.300	Base de enchufe (10A)	-	-	-	10	0	0,00	0,00
			0	C12	Circuit adicional al C3 o al C4 o al C5 (quan sobrepassi de 6 preses de corrent)	4		3.450	Base de enchufe (16A) 2p +T	0,66	0,75	6	25	0	0,00	0,00
												18.848	91,05			

**Taula 10.2. Taula de Repartiment de Càrregues segons ITC-BT 25**

$$P = n \cdot I_a \cdot C_s \cdot C_u$$

P	Intensitat de càlcul, prevista per a cada circuit
n	nombre de preses o receptors del circuit addicional
$I_a$	Intensitat prevista per presa o receptor
$C_s$	coeficient de simultaneïtat
$C_u$	coeficient d'utilització

Llegenda Taula 10.2.

### 10.11. Elecció del aerogenerador

Per triar un aerogenerador, s'han de fer prèviament diferents càlculs, per la selecció del millor aerogenerador. Primerament, s'ha de calcular la potència elèctrica generada per un aerogenerador, dit d'una manera "universal".

Per això es suposarà d'un rendiment del sistema elèctric del 0,85. L'equació (11-3) ens mostra l'expressió per transformar la potència eòlica a potència elèctrica.

$$P_{elèctrica} = \eta_{sist.elèctric} \cdot P_{mecànica} = \eta_{sist.elèctric} \cdot C_p \cdot P_{eòlica}$$

Equació 10.3. Potència elèctrica generada

En la Taula 11-3. es mostren les potències màximes elèctriques que es capaç de subministrar un aerogenerador per diferents diàmetres d'àrea de escombrat de les pales.

D (m <sup>2</sup> )	$P_{elèctrica}$ (kW)
1	0,230
2	0,922
4	3,690
6	8,306
8	14,766
10	23,072
12	33,224
14	45,222

Taula 10.3. Potències màximes per diferents àrees

A la vista dels càlculs corregits a la Taula 11-3. el diàmetre del àrea d'escombrada òptim per aquesta aplicació es de 12 m<sup>2</sup> ja que amb aquest s'obté la potència elèctrica mínima de les vivendes (Equació 11-2.)

Per calcular la mida del aerogenerador (diàmetre pales) en la Taula 11-4. s'ha calculat la potència eòlica descrita en l'equació 11-5. i la potència elèctrica a l'equació 11-6. per diferents valors de diàmetres.

$$P_{eòlica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

**Equació 10.4. Potència eòlica generada**

$$P_{elèctrica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p \cdot v^3 \cdot \eta$$

**Equació 10.5. Potència elèctrica generada**

Per tal de calcular la mida de l'aerogenerador (diàmetre pales) a la Taula 11.5 s'ha calculat la potència eòlica (calculada segons la equació 11-5.) i la potència elèctrica (calculada segons la equació 11-3.) per a diferents valors de diàmetres.

DIÀMETRE PALES	POTÈNCIA EÒLICA (kW)	POTÈNCIA ELÈCTRICA (kW)
1	0,257	0,122
2	1,027	0,489
3	2,311	1,100
4	4,109	1,956
5	6,420	3,056
6	9,245	4,401
7	12,584	5,990
8	16,436	7,824
9	20,802	9,902
10	25,682	12,224
11	31,075	14,792
<b>12</b>	<b>36,982</b>	<b>17,603</b>

**Taula 10.4. Potència eòlica i elèctrica per a diferents diàmetres**

$$\eta_{\text{sistema elèctric}} = 0,85$$

$$C_p = 0,56$$

$$\rho = 1,217 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

S'ha seleccionat un diàmetre final de 12 m ja que la potència elèctrica obtinguda supera a la potència mínima a proporcionar. (Equació 11-2.)

Per validar que el diàmetre de rotor seleccionat sigui el correcte, hi ha que comprovar que la velocitat en la punta de la pala no sigui superior a la velocitat del so, ja que del contrari el disseny de les pales no seria òptim ja que es podrien produir cavitacions en la punta de la pala, fet que implicaria pèrdua de rendiment de les mateixes, soroll, vibracions i erosions.

A continuació en la Equació (11-7.) es realitza el càlcul de comprovació. Per realitzar aquest càlcul es necessari conèixer a què velocitat gira el rotor; en aquest cas, l'aerogenerador triat gira a una velocitat de 100 rpm per una velocitat de 8 m/s.

$$V_{pp} = \omega \cdot r = n \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot r$$

**Equació 10.6. Velocitat a la punta de la pala**

$$V_{pp} = 100 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 6,25 = 65,45 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Com a conclusió es determina el nombre de pales de les que es compondrà l'aerogenerador. Per això es necessari conèixer la velocitat específica, la qual es defineix segons l'equació 11-8. com la relació entre velocitat en la punta de la pala "V<sub>pp</sub>" i la velocitat mitja del vent "v".

$$\lambda = \frac{V_{pp}}{v} = \frac{\omega \cdot r}{v}$$

**Equació 10.7. Velocitat específica**

$$\lambda = \frac{n \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot r}{v} = \frac{100 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 6,25}{8,13} = 8,05$$

El nombre de pales es funció de la velocitat específica tal i com es mostra a la Taula 11.5.

$\lambda$	Nº PALES
1	6 - 20
2	4 - 12
3	3 - 8
4	3 - 5
5 - 8	2 - 4
5 - 15	1 - 2

**Taula 10.5. Nombre de pales en funció de lambda**

Degut a que la velocitat específica  $\lambda$  té un valor de 8,05 el nombre de pales òptim varia de 1 fins a 2 pales segons la Taula 11-5. Superant insignificant ment el rang amb valor de  $\lambda$  de 5-8 que li correspon de 2 a 4 pales.

Per decidir finalment el nombre de pales es tindre en compte que a menor nombre de pales, el cost es menor però l'aerogenerador sofreix majors càrregues degut a que gira més ràpid. En canvi, a major nombre de pales, encara que el cost i el par d'arrencada augmentin, les càrregues degudes a la fatiga son menors. Finalment es seleccionen tres pales considerant que es una solució de compromís entre costos i les possibles càrregues que poden sofrir. Sent aquest número de pales aconsellat pel fabricant del aerogenerador.

## 10.12. Característiques de l'aerogenerador

La importància de fer una correcta selecció, recau en el paràmetres anteriorment calculats. Segons l'equació 11-6 és fa el càlcul de la potència elèctrica que pot subministrar l'aerogenerador segons un rendiment del sistema elèctric del 85%.

Per tant coneixent la potencia total de les cases que és de 20,70 kW , i disposant d'una mitja de velocitat de 8,13 m/s, durant unes 10,5 hores trobem que es necessita una potència nominal de la turbina de l'aerogenerador d'uns 30 kW aproximadament. Si es segueix el càlcul anterior necessitem un aerogenerador que tingui de 2 a 4 pales.

Després d'una busca acurada en el mercat d'un aerogenerador de les nostres necessitats ens decanem per un model de la marca AEOLUS model: H 30kW, per la seva relació qualitat-preu i pels diferents sistemes de regulació i seguretat que incorpora.

A continuació es mostren les característiques de l'aerogenerador escollit:

MODEL	H - 30 kW
Diàmetre turbina	12,5m
Nombre de pales	3
Material pales	fibra de vidre
Dimensions	
Energia anual	143253 kWh
Generador	Asíncron
Rotor	Eix horitzontal, sobrevent
Orientació	
Alçada de la torre	18/24 m
Velocitat d'arrancada	3 m/s
Velocitat de tall	25 m/s
Velocitat de destrucció	45 m/s
Pes total	1380 kg
Voltatge	320-480V Trifàsic

**Taula 10.6. Característiques del aerogenerador**

### 10.12.1. Manteniment del aerogenerador

#### 10.12.1.1. Manteniment correctiu

Son intervencions no programades o d'emergència. Les intervencions de manteniment correctiu les realitzarà personal qualificat per realitzar tal fi.

#### 10.12.1.2. Manteniment preventiu

Son inspeccions programades de manteniment. En la programació d'aquestes intervencions es recomanable seguir les indicacions del fabricant, com a mínim inclouran:

Boixa.

- Detecció de fissures.
- Revisió del parell d'estrenyi dels cargols.



#### Pales.

- Inspecció visual de les pales.
- Detecció de fissures.
- Inspecció d'extensió de les pales.

#### Eix transversal, biela.

- Lubricació coixinets de les bieles.
- Lubricació sistema d' anti-rotació per l'eix transversal.
- Lubricació suport d'eix transversal i del coixinet llis davanter.
- Revisió del parell d'estrenyi dels cargols.
- Revisió dels rodaments.

#### Cilindre del pitch.

- Lubricació dels anells guia allotjats a l'eix d'orientació de les pales.
- Lubricació rodaments de l'eix d'orientació.
- Lubricació del cap de la caixa en plançó del pistó.
- Lubricació suport del cilindre.
- Revisió dels rodaments de l'eix d'orientació de pales i anells guia.
- Revisió del suport del cilindre.
- Revisió del cilindre hidràulic.
- Revisió de possibles fugides d'oli.
- Revisió de la posició inicial del sistema de l'eix d'orientació de les pales.

#### Eix principal.

- Lubricació de rodaments principals.
- Revisió de rodaments.

- Revisió del parell d'estrenyi dels cargols.

#### Sistema d'amortiment.

- Lubricació del discs de molls drets / esquerres.

#### Reductora.

- Lubricació general.
- Revisió de la folgança dels rodaments.
- Revisió fugides d'oli.

#### Frens.

- Revisió pinces i pastilles de frens.
- Revisió del disc de fre.
- Eix de transmissió.

#### Generador.

- Lubricació general.
- Revisió dels amortidors de cautxú.
- Revisió dels rodaments.
- Revisió dels dispositiu protector del ventilador i tractament de la superfície.

#### Sistema hidràulic.

- Revisió de nivells.
- Canvi de filtre d'alta pressió.

#### Sistema de rodament d'orientació.

- Lubricació mordasses, vèrtex inferior, aresta interna i dents d'engranatges.
- Revisió del parell d'estrenyi dels cargols.

- Revisió dels rodaments de lliscament.
- Control de material.

#### Carcassa

- Revisió general.

#### Torre tubular

- Revisió del parell d'estrenyi dels cargols i revisió general.

#### Consumibles

Els consumibles que siguin tals com olis, lubricants, grasses, filtres, juntes, fusibles, etc., tant en les intervencions de manteniment correctiu com en las del manteniment preventiu no es podran emmagatzemar en el CM.

#### *10.12.1.3. Manteniment predictiu*

En una primera instància no hi ha programades cap intervenció respecte al manteniment predictiu.

### **10.12.2. Camins interns i plataformes de muntatge dels aerogeneradors**

#### *10.12.2.1. Traçat dels camins interns*

Es descriuran els camins interns en la parcel·la, responent, per una part a la condició de facilitar l'accés a l'aerogenerador, i una altra la d'utilitzar en la major mesura possible els camins existents, minimitzant d'aquesta forma l'afecció ambiental de l'obra. Com condició general del traçat, es considerarà la pendent màxima, a efectes de realitzar la correcta programació del transport del material i grues pel muntatge de l'aerogenerador. No obstant, es procurarà fixar el camins de la millor forma possible per evitar al màxim l'aparició de terraplens, que son més difícils d'integrar amb el paisatge.

#### *10.12.2.2. Plataformes de muntatge*

Es descriuran la constitució i mesures de la plataforma que es disposaran juntament amb l'aerogenerador, amb prolongació pels accessos, necessària per l'establiment de les grues utilitzades en el muntatge de la torre i el generador.

## 11. Instal·lació elèctrica del projecte

### 11.1. Dades generals del projecte

**PROJECTE:** De centre de mesurament MT 25kV per evacuació a xarxa de l'energia elèctrica generada per una instal·lació eòlica.

**EMPLAÇAMENT:** Font Rubí (BARCELONA)  
08736

**PROMOTOR:**

### 11.2. Objecte del projecte

El objecte del present es especificar les condicions tècniques, d'execució i econòmiques de les instal·lacions necessàries per evacuar energia elèctrica en mitja tensió (25kV trifàsica, 50Hz) a la xarxa de la Companyia Elèctrica FECSA ENDESA, generada per una instal·lació eòlica de 30kW de potencia nominal.

Establint les Condicions Tècniques necessàries per a la seva legalització i posada en servei.

La potència instal·lada de la instal·lació eòlica es de 30kW, per lo que s'utilitzarà per la seva evacuació un transformador elevador BT/MT de 50kVA de potencia ( la instal·lació eòlica generarà l'energia elèctrica en BT, a una tensió nominal de 400V i 50Hz de freqüència). Seguint les instruccions de la Companyia Elèctrica, l'energia generada s'abocarà en la LMT 25kV 'COLL DE LA BARRACA 1', que discorre en la comarca de l'Alt Penedès, concretament en el municipi de Font Rubí, on té el seu final, mitjançant un Centre de Mesurament.

#### 11.2.1. Normativa, Reglamentació i disposicions oficials

Per a la realització del present projecte s'ha tingut en compte lo establert per la següent normativa i reglaments oficials, i que son d'aplicació a la instal·lació projectada:

- Reglament de Línies Elèctriques Aèries d'Alta Tensió, aprovat per Decret 3151/1968, de 28 de novembre, publicat en el BOE nº311 de 27 de desembre de 1968.
- Reglament sobre Condicions Tècniques i Garanties de Seguretat en Centrals Elèctriques, Subestacions i Centres de Transformació, segons Reial Decret 3275/1982, de 12 de novembre, e Instruccions Tècniques Complementàries (MIE-RAT), segons Ordre de 6 de juliol de 1984.
- Ordre de 10 de març de 2000, modificant les ITC MIE-RAT en Centrals Elèctriques, Subestacions i Centres de Transformació.
- Reglament Electrotècnic per Baixa Tensió e Instruccions Tècniques Complementàries, aprovat per Reial Decret 842/2002, de 2 d'agost, publicat en el BOE nº224 de 18 de setembre de 2002.

- Reglament Unificat de Punts de Mesura del Sistema Elèctric aprovat per Reial Decret 1110/2007, de 24 d'agost, publicat en el BOE nº224 de 18 de setembre de 2007.
- Reial Decret 1955/2000 de 1 de desembre per el que es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica, publicat en el BOE nº310 de 27 de desembre de 2000.
- Reial Decret 661/2007, de 25 de maig, per el que es regula la activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial, publicat en el BOE nº126 de 26 de maig de 2007.
- Resolució ECF/4548/2006, de 29 de desembre de 2006, per la que s'aprova a Fecsa-Endesa las Normes tècniques particulars relatives a les instal·lacions de xarxa i a les instal·lacions d'enllaç. (exp.EE-104/01)
- Normes UNE i recomanacions UNESA que siguin d'aplicació.
- Projecte tipus UNESA de Centres de Transformació de Distribució en Edifici Prefabricat, en lo que afecta al present projecte.
- Ordenances municipals i condicions imposades per els organismes públics afectats.

En l'execució dels treballs, a més de les normatives anteriorment especificades, es tindran en compte:

- Ordre de 9 de març de 1971 per la que s'aprova la Ordenança General de Seguretat e Higiene en el treball.
- Reial Decret 1627/1997, de 24 d'octubre, per el que s'estableixen disposicions mínimes de seguretat i salut en les obres de construcció.
- Reial Decret 171/2004, de 30 de gener, per el que es desenvolupa l'article 24 de la Llei 31/1995, de 8 de novembre, de Prevenció de Riscos Laborals, en matèria de coordinació d'activitats empresarials.

Serà igualment d'aplicació tota la normativa en vigor (en el Estudi Bàsic de Seguretat i Salut es dona una relació més exhaustiva de normes en vigor), així com les que es promulguessin durant l'execució dels treballs.

### 11.3. Punt on se evacua la energia i previsió de potència

La energia elèctrica s'evacuarà en la LMT de 25kV 'COLL DE LA BARRACA 1', de la Companyia FECSA ENDESA, que discorre a una distància aproximada de 1,05km de la nostra instal·lació; això s'aconseguirà mitjançant la modificació de dita línia, en el tram comprés entre els centres CD 3246 i CD 3247, habilitant des de la mateixa dos circuits subterranis entrada/sortida fins al nou Centre de Transformació a instal·lar.

La potència prevista a generar per la instal·lació eòlica es de 30kW. Aquesta potència serà generada per un aerogenerador.

#### 11.4. Obres a realitzar

Per aconseguir l'objecte proposat, serà necessari realitzar les obres següents:

- Infraestructura a realitzar per FECSA ENDESA por compte del PROMOTOR, la qual queda fora del abast d'aquest projecte:
  - Instal·lació dels circuits d'entrada/sortida previstos per a connectar el nou Centre de Transformació a la xarxa de la Companyia.
  - Entroncament dels circuits d'entrada/sortida previstos amb la línia de MT existent, i connexió dels mateixos en el Centre de Transformació.
  - Instal·lació, legalització i posada en servei dels equips de comunicacions necessaris en el Centre de Transformació; posada en servei del equip de telecontrol i supervisió del muntatge de les instal·lacions d'aquest centre que s'estimin oportunes.
  - Instal·lació en el interruptor de capçalera de la línia de MT d'una protecció de Control de Tensió de Retorn.
- Infraestructura a realitzar per compte del PROMOTOR, que quedarà de la seva propietat i serà operada per part de FECSA ENDESA mitjançant el corresponent acord escrit, objecte del present projecte:
  - 1 Centre d'entrega d'interior prefabricat, com a part integrant del Centre de Transformació, amb aparellatge de maniobra de tensió assignada 36kV i control integrat.
  - 1 armari de telecomandament, instal·lat en el Centre d'entrega, segons especificacions tècniques de la Companyia.
- Infraestructura a realitzar per compte del PROMOTOR, que quedarà de la seva propietat i sota la seva responsabilitat d'operació, objecte del present projecte:
  - 1 Centre de protecció i mesura d'interior prefabricat, com a part integrant del Centre de Transformació, amb aparellatge de tensió assignada 36kV, instal·lant en el mateix un transformador de 50kVA de potència per a l'evacuació d'energia generada per la instal·lació eòlica.

#### 11.5. Característiques generals del Centre de Transformació

Com es va indicar anteriorment, l'energia elèctrica generada per la instal·lació eòlica s'evacuarà a la xarxa de MT de FECSA ENDESA, a la tensió de 25kV trifàsica i 50Hz, mitjançant la instal·lació d'un Centre de Transformació. El disseny, càlcul i construcció de l'esmentat centre se ha basat, en tot allò que li sigui d'aplicació, en les Normes tècniques particulars de la Companyia FECSA ENDESA, en especial en lo exposat en la NTP-IEMT 'Instal·lacions d'enllaç en Mitja Tensió'.

El Centre de Transformació constarà dels elements següents:

- Edifici prefabricat.
- Cel·les de MT.
- Transformador.
- Quadre de BT.
- Connexionats de potència de MT i BT.
- Instal·lacions de posada a terra.
- Armari de telecontrol.
- Instal·lacions auxiliars (il·luminació, ventilació, elements de seguretat, etc.)
- Equip de mesura en MT.

### 11.5.1. Edifici prefabricat

El Centre de Transformació a projectar es de tipus interior i consta únicament d'una envoltant, en la que es troba tot l'aparellatge i d'altres equips elèctrics, inclòs el transformador BT/MT previst. Per al disseny del centre s'han observat totes les normatives abans indicades, tenint en compte les distàncies necessàries per a passadissos, accessos, etc., respectant-se en tot cas les distàncies mínimes entre els elements que es detallen en el vigent reglament d'alta tensió. L'edifici proposat correspon al fabricant ORMAZABAL, model PFU-7.

L'edifici serà de construcció prefabricada de formigó. Disposarà de dos portes peatonals d'accés directe des de l'exterior i separació física mitjançant una malla metàl·lica, entre el Centre d'entrega (competència d'operació de ENDESA) i el Centre de protecció i mesura (competència d'operació del PROMOTOR)

Les dimensions exteriors del edifici seran les següents:

- Longitud 8080mm
- Amplada 2380mm
- Alçada 3240mm
- Alçada vista 2780mm
- Pes 29090kg

En quant a les dimensions interiors, aquestes seran:

- Longitud 7900mm
- Amplada 2200mm
- Alçada 2550mm (sense comptar el buit sota la solera)

L'edifici estarà format per les següents peces principals: una que aglutini la base i las parets, un altre que formi la solera, i una tercera que formi el sostre, estant la estanquitat garantida per l'ús de juntes de goma esponjosa entre les dos peces principals exteriors.

Aquestes peces estaran construïdes en formigó, amb una resistència característica de  $300\text{Kg/cm}^2$ , reforçat amb una armadura metàl·lica, estant unides entre si mitjançant falques de coure i a un col·lector de terres interior, formant d'aquesta manera una superfície equipotencial que envolti completament al centre.

El edifici presentarà els índexs de protecció següents:

- IP23 el centre
- IP33 les reixetes exteriors

En quant a les sobrecàrregues admissibles, es consideraran les següents:

- Sobrecàrrega de neu de  $250 \text{ kg/cm}^2$
- Sobrecàrrega de vent de  $100 \text{ kg/cm}^2$  (144km/h)
- Sobrecàrrega en la solera de  $400 \text{ kg/cm}^2$

Les temperatures de funcionament, fins a una humitat del 100% seran:

- Míxima transitòria de  $-15^\circ\text{C}$
- Màxima transitòria de  $50^\circ\text{C}$
- Màxima mitja diària de  $35^\circ\text{C}$

L'edifici prefabricat estarà acreditat amb el certificat de Qualitat UNESA d'acord a la Recomanació UNESA 1303A.

- **Cimentació**

Per a la ubicació del centre serà necessari realitzar una excavació, sobre el fons del qual s'estendrà una capa de sorra compactada i anivellada d'uns 10cm d'espessor. Les dimensions de la excavació seran les següents:

- Longitud 8180mm
- Amplada 3230mm
- Espessor 200mm

- **Base i parets**

Tots aquests elements estaran fabricats amb una sola peça de formigó, tal i com s'ha indicat anteriorment.

En la part inferior de les parets frontal i posterior es situaran els forats per als cables de MT i BT. Aquests forats estaran semiperforats, realitzant-se en obra l'apertura dels que siguin necessaris per cada aplicació. De igual forma, disposarà d'uns forats semiperforats practicables per a les sortides a les terres exteriors.

En la paret frontal es situaran les dos portes d'accés de vianants i la porta del transformador. En la paret posterior i la paret lateral del Centre de protecció i mesura es trobaran les reixetes de ventilació previstes. Tots aquests materials estaran fabricats en xapa d'acer galvanitzat.

Les portes d'accés de vianants tindran unes dimensions de 900/1100x2100mm (amplada x alçada), mentre que la del transformador serà de 1260x2100mm. Tots dos tipus de portes podran obrir-se  $180^\circ$ , sempre cap a fora, podent per lo tant abatre's completament sobre la paret frontal, en aquesta posició, podran a més quedar-se fixades mitjançant un bloqueig mecànic. Disposaran també d'un sistema de tancament amb objecte de garantir la seguretat de funcionament, evitant apertures intempestives de les mateixes i la violació del centre. Per això comptaran amb un pany dissenyat especialment per aquest comès, i disposaran de dos punts d'ancatge, en la part superior i en la part inferior.



Les reixetes de ventilació dels transformadors es distribuïran en els tancaments exteriors. Les dos reixetes principals (ubicades en la porta del transformador i la paret posterior) tindran unes dimensions de 1200x677mm, completant-se amb quatre reixetes de 800x766mm ubicades en la paret lateral juntament als transformadors. Totes aquestes reixetes estaran formades per lames de “V” invertida, dissenyades per formar un laberint que eviti l’entrada d’aigua de pluja en el centre, e interiorment es completaran amb una reixeta mosquitera.

Les portes i reixetes exteriors del centre estaran aïllades elèctricament de la terra equipotencial de la envoltant, presentant una resistència mínima de 10kΩ.

En el buit per al transformador, es disposarà de dos perfils metàl·lics UPN, els quals es podran lliscar en funció de la distància entre les rodes del transformador. La zona de la base sota el buit disposarà d’un dispositiu de recollida d’oli davant possibles vessaments del transformador. Aquest fossat de recollida d’oli s’integrarà en el propi disseny de la base de formigó i tindrà una capacitat mínima de 760lts, estant així dissenyat per a recollir en el seu interior tot l’oli del transformador sense que aquest es vessi fora de ell. En la part superior anirà disposada una safata tallafocs d’acer galvanitzat perforada i coberta de grava.

- **Solera**

Sobre la base, i a una alçada d’uns 400mm, es situarà la solera, que es recolzarà en un ressalt interior de les parets, permetent aquest espai el pas dels cables de MT i BT, als quals s’accedirà a través d’uns encastaments cobertes amb llosetes.

- **Coberta**

La coberta estarà formada per una peça de formigó, amb interseccions en la part superior per a la seva manipulació.

- **Pintures**

L’acabat de les superfícies exteriors s’efectuarà amb pintura de poliuretà, de color blanc-crema llis en les parets, i marró en el perímetre de la coberta o sostre.

Les parets i reixetes de ventilació del centre comptaran amb un acabat de pintura epoxy de polièster, de color marró similar al de la coberta.

- **Diversos**

- Reixa de separació entre Centre d’entrega i Centre de protecció i mesura.
- 2 portes d’accés de vianants.
- Tensió nominal 36kV

## 11.5.2. Cel·les de MT

### 11.5.2.1. Cel·les de línia en el Centre d'Entrega

Les cel·les previstes seran cabines modulars d'aïllament integral de hexafluorur de sofre ( $\text{SF}_6$ ). El tall i extinció de l'arc es realitzarà igualment en  $\text{SF}_6$ . Respondran en la seva concepció i fabricació a la definició d'aparellatge sota envoltant metàl·lica compartimentada d'acord amb la norma UNE-EN 62271-200, havent de complir així mateix amb la norma GE FND003. Les cel·les proposades correspondran al fabricant ORMAZABAL, model CGM.3.

- **Els compartiments diferenciats de les cel·les seran els següents:**

- Compartiment d'aparellatge.
- Compartiment del joc de barres.
- Compartiment de connexió dels cables.
- Compartiment de comandament.
- Compartiment de control.

- **Característiques nominals de les cel·les de MT de línia en el Centre d'entrega:**

- Tensió nominal..... 25kV
- Tensió màxima de servei..... 36kV
- Nombre de fases..... 3
- Freqüència nominal..... 50Hz
- Intensitat nominal:
  - En barres e interconnexió de cel·les.....630A
  - Escomesa de línies.....630A
- Tensió suportada nominal a freqüència industrial:
  - A terra i entre fases.....70kV
  - A distància de seccionament.....80kV
- Tensió suportada a impulsos:
  - A terra i entre fases.....170kV
  - A distància de seccionament.....195kV
- Intensitat de curta durada (circuit principal):
  - Valor eficaç 1s.....20kA
  - Valor de pic.....50kA
- Poder de tancament del interruptor principal.....50kA

- Categoria del interruptor s/IEC 60265-1:
  - Endurància mecànica (maniobra-classe).....1000-M1 (manual)  
5000-M2 (motoritzat)
  - Nº de tancaments contra curtcircuit (“).....5-E3
- Intensitat de curta duració (circuit terres):
  - Valor eficaç 1s.....20kA
  - Valor de pic.....50kA
- Poder de tancament del seccionador de terra.....50kA
- Categoria del seccionador de terra s/IEC 62271-102:
  - Endurància mecànica (maniobra-classe).....1000-M0 (manual)
  - Nº de tancaments contra curtcircuit (“).....5-E2

- **Condicions normals de servei**

Les cel·les hauran d'estar dissenyades i construïdes per la seva utilització en les següents condicions de servei en interior, d'acord amb la norma IEC 60694:

- Temperatura ambient màxima de 40°C, sent el seu valor mitjà en 24 hores no superior a 35°C.
- Temperatura ambient mínima de -5°C .
- Altitud d'instal·lació no superior a 1000 msnm, per a altituds per sobre 1000 i fins a 3000m, consultar al fabricant.
- L'aire del recinte no contindrà pols, fum, gasos o vapors corrosius o inflamables, ni sals en quantitat apreciable.

- **Característiques constructives**

Cel·la de línia model CGM.3-L de dimensions 1745x418x845 (alt x ample x fons) i 138Kg de pes, contenint:

- Joc de barres tripolar de 630A.
- Interruptor-seccionador rotatiu III amb tres posicions (connectat-seccionador-posat a terra), de tall i aïllament íntegre en SF<sub>6</sub> de 630A, 36kV, amb comandament motoritzat.
- Seccionador de posada a terra, amb comandament manual.
- Captadors capacitius de presència de tensió 36kV.
- Blocs de contactes auxiliars.
- Passatapes per connexió de cable de 630A, endollables per a secció màxima de 240mm<sup>2</sup>.
- Embarrat de posada a terra amb platina de coure de 30x3mm.
- Relé de control model ekorRCI amb captadors toroïdals, per a possibilitar funcions de telecomandament

#### 11.5.2.2. Cel·les de línia i protecció en el centre de protecció i mesura

Les cel·les previstes seran cabines modulars d'aïllament integral de hexafluorur de sofre (SF<sub>6</sub>). El tall i extinció de l'arc es realitzarà igualment en SF<sub>6</sub> ( en buit en el cas de la cel·la d'interruptor automàtic). Respondran en la seva concepció i fabricació a la definició d'aparellatge sota envoltant metàl·lica

compartimentada d'acord amb la norma UNE-EN 62271-200, havent de complir així mateix amb la norma GE FND003. Les cel·les proposades correspondran al fabricant ORMAZABAL, model CGM.3.

- **Els compartiments diferenciats de les cel·les seran els següents:**

- Compartiment d'aparellatge.
- Compartiment del joc de barres.
- Compartiment de connexió dels cables.
- Compartiment de comandament.
- Compartiment de control.

- **Característiques nominals de la cel·la de MT de línia en el Centre de protecció i mesura:**

- Tensió nominal..... 25kV
- Tensió màxima de servei..... 36kV
- Nombre de fases..... 3
- Freqüència nominal..... 50Hz
- Intensitat nominal:
  - En barres e interconnexió de cel·les.....400A
  - Escomesa de línies.....400A
- Tensió suportada nominal a freqüència industrial:
  - A terra i entre fases.....70kV
  - A distància de seccionament.....80kV
- Tensió suportada a impulsos:
  - A terra i entre fases.....170kV
  - A distància de seccionament.....195kV
- Intensitat de curta durada (circuit principal):
  - Valor eficaç 1s.....20kA
  - Valor de pic.....50kA
- Poder de tancament del interruptor principal.....50kA
- Categoria del interruptor s/IEC 60265-1:
  - Endurància mecànica (maniobres-classe).....1000-M1 (manual)  
5000-M2 (motoritzat)
  - Nº de tancaments contra curtcircuit ("").....5-E3
- Intensitat de curta duració (circuit terres):
  - Valor eficaç 1s.....20kA
  - Valor de pic.....50kA

- Poder de tancament del seccionador de terra.....50kA
- Categoria del seccionador de terra s/IEC 62271-102:
  - Endurància mecànica (maniobres-classe).....1000-M0 (manual)
  - Nº de tancaments contra curtcircuit (“).....5-E2
- **Característiques nominals de la cel·la de MT de protecció en el Centre de protecció i mesura:**
  - Tensió nominal..... 25kV
  - Tensió màxima de servei..... 36kV
  - Nombre de fases..... 3
  - Freqüència nominal..... 50Hz
  - Intensitat nominal:
    - En barres e interconnexió de cel·les.....630A
    - Interruptor.....630A
  - Tensió suportada nominal a freqüència industrial:
    - A terra i entre fases.....70kV
    - A distància de seccionament.....80kV
  - Tensió suportada a impulsos:
    - A terra i entre fases.....170kV
    - A distància de seccionament.....195kV
  - Intensitat de curta durada (interruptor automàtic):
    - Valor eficaç 1s.....20kA
    - Valor eficaç 3s.....50kA
  - Poder de tall del interruptor (en curtcircuit).....20kA
  - Poder de tall del interruptor (valor de pic).....50kA
  - Categoria del interruptor automàtic s/IEC 62271-100:
    - Endurància mecànica (maniobres-classe).....2000-M1
    - Endurància elèctrica.....E2
  - Categoria del seccionador s/IEC 62271-102:
    - Endurància mecànica (maniobres-classe).....1000-M0
    - Nº de tancaments contra curtcircuit (classe).....E2
  - Categoria del seccionador de terra s/IEC 62271-102:
    - Endurància mecànica (maniobres-classe).....1000-M0
    - Nº de tancaments contra curtcircuit (classe).....E2

- **Condicions normals de servei.**

Les cel·les hauran d'estar dissenyades i construïdes per la seva utilització en les següents condicions de servei en interior, d'acord amb la norma IEC 60694:

- Temperatura ambient màxima de 40°C, sent el seu valor mitjà en 24 hores no superior a 35°C.
- Temperatura ambient mínima de -5°C.
- Altitud d'instal·lació no superior a 1000 msnm, per a altituds per sobre 1000 i fins a 3000m, consultar al fabricant.
- L'aire del recinte no contindrà pols, fum, gasos o vapors corrosius o inflamables, ni sals en quantitat apreciable.

- **Característiques constructives**

Cel·la de línia model CGM.3-L de dimensions 1745x418x845 (alçada x amplària x fondària) i 138Kg de pes, contenint:

- Joc de barres tripolar de 400A.
- Interruptor-seccionador rotatiu III amb tres posicions (connectat-seccionador-posat a terra), de tall i aïllament íntegre en SF<sub>6</sub> de 400A, 36kV, amb comandament manual.
- Seccionador de posada a terra, amb comandament manual.
- Captadors capacitius de presència de tensió 36kV.
- Passatapes per connexió de cable de 400A, endollables per a secció màxima de 240mm<sup>2</sup>.
- Embarrat de posada a terra amb platina de coure de 30x3mm.

- Cel·la d'interruptor automàtic model CGM.3-V, de dimensions 1745x600x850mm (alçada x amplària x fondària) i 240Kg de pes, contenint:

- Joc de barres tripolar de 630A.
- Seccionador rotatiu III amb tres posicions (connectat-seccionat-preparat a terra), de tall i aïllament íntegre SF<sub>6</sub> de 630A, 36kV, amb comandament manual.
- Interruptor automàtic de tall en buit de 630A, 36kV, amb comandament manual tipus AV.
- Bobina de salt a 48V<sub>cc</sub> amb curtcircuit antibombeo i blocs de contactes auxiliars.
- Captadors capacitius de presència de tensió 36kV.
- Passatapes per connexió de cable de 630A, endollables per secció màxima de 240mm<sup>2</sup>.
- Embarrat de posada a terra amb pletina de coure de 30x3 mm.
- Relé de protecció model ekorRPS amb captadors toroïdals 300/1A cl. 5P20, amb capacitat per a protecció de sobreintensitat de fases (50-51), sobreintensitat de fruita a terra (50N-51N), subtensió (27), sobretensió (59), sobretensió homopolar (59N), subfreqüència (81m), sobrefreqüència (81m) i protecció tèrmica del transformador.

#### 11.5.2.3. Cel·la de remunt en el centre de protecció i mesura

S'instal·larà una cel·la de remunt especial per a possibilitar la interconnexió mitjançant cable sec entre la sortida de línia de la cel·la de sortida a autoproduïdor del Centre d'entrega (seccionador frontera) i el embarrat de la cel·la de protecció en el Centre de protecció i mesura, així com per a la pressa de tensions de xarxa necessàries per al relé de protecció ekorRPS i la instal·lació de un trafo per alimentació dels serveis auxiliars del centre. La cel·la proposada correspon al fabricant ORMAZABAL, model CGM.3.

- **Característiques nominals de la cel·la de MT de remunt especial en el Centre de protecció i mesura:**

- Tensió nominal..... 25kV
- Tensió màxima de servei..... 36kV
- Nombre de fases..... 3
- Freqüència nominal..... 50Hz
- Intensitat nominal:
- Escomesa e interconnexió de cel·les.....630A

- **Condicions normals de servei**

Les cel·les hauran d'estar dissenyades i construïdes per la seva utilització en les següents condicions de servei en interior, d'acord amb la norma IEC 60694:

- Temperatura ambient màxima de 40°C, sent el seu valor mitjà en 24 hores no superior a 35°C.
- Temperatura ambient mínima de -5°C .
- Altitud d'instal·lació no superior a 1000 msnm, per a altituds per sobre 1000 i fins a 3000m, consultar al fabricant.
- L'aire del recinte no contindrà pols, fum, gasos o vapors corrosius o inflamables, ni sals en quantitat apreciable.

- **Característiques constructives**

Cel·la de remunt especial model CGM.3-M de dimensions 1950x900x1160 (alçada x amplària x fondària) i 290Kg de pes (buida), contenint:

- Tres transformadors de tensió de doble secundari per pressa de tensions per a protecció amb tensió d'aïllament nominal 36kV.
- Un transformador de tensió per alimentació dels serveis auxiliars del Centre amb tensió d'aïllament nominal 36kV.
- Embarrat de posada a terra.

- **Característiques nominals dels transformadors de tensió per a protecció (relé ekorRPS).**

- Potència de precisió mínima.....30VA
- Tensió secundària.....110/√3-110/3V
- Classe de precisió.....0,5-3P
- Tensió nominal primària.....27,5/√3kV
- Tensió més elevada per al material.....36kV
- Tensió suportada a freqüència industrial.....70kV
- Tensió suportada a impuls tipus llamp.....170kV

- **Característiques nominals del transformador de tensió SS.AA**

- Potència nominal.....650VA
- Tensió secundària.....230V
- Tensió nominal primària.....27,5/ $\sqrt{3}$ kV
- Tensió més elevada per al material.....36kV
- Tensió suportada a freqüència industrial.....70kV
- Tensió suportada a impuls tipus llamp.....170kV

#### 11.5.2.4. Cel·la de mesura en el centre de protecció i mesura

El Centre de protecció i mesura comptarà amb una cel·la de mesura en MT per comptabilitzar els trànsits d'energia en la frontera entre la xarxa de distribució de la Companyia i el client. Els transformadors de mesura instal·lats compliran lo establert per als punts de mesura del tipus 4<sup>3</sup> descrits en el Reglament unificat de punts de mesura del sistema elèctric. La cel·la proposta correspon al fabricant ORMAZABAL, model CGM.3.

- **Característiques nominals de la cel·la de MT de mesura en el Centre de protecció i mesura:**

- Tensió nominal..... 25kV
- Tensió màxima de servei..... 36kV
- Nombre de fases..... 3
- Freqüència nominal..... 50Hz
- Intensitat nominal:  
Escomesa e interconnexió de cel·les.....400A
- Tensió suportada nominal a freqüència industrial:  
A terra i entre fases.....70kV  
A distància de seccionament.....80kV
- Tensió suportada a impulsos:  
A terra i entre fases.....170kV  
A distància de seccionament.....195kV

<sup>3</sup> tipus 4: són punts de mesura tipus 4 els punts situats en les fronteres de clients, quina potència contractada en qualsevol període sigui igual o inferior a 50kW i superior a 15kW



- **Condicions normals de servei**

Les cel·les hauran d'estar dissenyades i construïdes per la seva utilització en les següents condicions de servei en interior, d'acord amb la norma IEC 60694:

- Temperatura ambient màxima de 40°C, sent el seu valor mitjà en 24 hores no superior a 35°C.
- Temperatura ambient mínima de -5°C .
- Altitud d'instal·lació no superior a 1000 msnm, per a altituds per sobre 1000 i fins a 3000m, consultar al fabricant.
- L'aire del recinte no contindrà pols, fum, gasos o vapors corrosius o inflamables, ni sals en quantitat apreciable.

- **Característiques constructives**

Cel·la de mesura model CGM.3-M de dimensions 1950x900x1160mm (alçada x amplària x fondària ) i 290kg de pes (buida), contenint:

- Tres transformadors d'intensitat segons especificacions tècniques de la Companyia i tensió d'aïllament nominal 36kV.
- Tres transformadors de tensió segons especificacions tècniques de la Companyia i tensió d'aïllament nominal 36kV.
- Embarrat de posada a terra.

#### 11.5.2.5. Configuració de cel·les

La configuració de cel·les prevista en el Centre de Mesurament es basarà en lo exposat en la NTP-IEMT<sup>4</sup> continguda en les Normes tècniques particulars de la Companyia FECSA-ENDESA. Les cel·les previstes seran les següents:

CENTRE	CEL·LA	UTS.
LLIURAMENT	CGM.3-L	3
PROTECCIÓ I MESURA	CGM.3-M (especial)	1
	CGM.3-V	1
	CGM.3-M	1
	CGM.3-L	1

**Taula 11.1. Taula descriptiva de les cel·les del Centre de Transformació**

<sup>4</sup> NTP-IEM: Instal·lacions d'enllaç en Mitja Tensió

#### 11.5.2.6. Accessoris de connexió

Els accessoris a utilitzar per realitzar la connexió dels conductors de MT a les diferents cel·les estaran homologats per FECSA ENDESA. S'escolliran connectors endollables o cargolables, segons els tipus d'instal·lació, adequats a les seccions i tensions assignades dels cables, així com a les intensitats nominals dels passatapes de connexió de les cel·les, tots aquells del fabricant EUROMOLD, en ser el fabricant recomanat per ORMAZABAL per a les cel·les seleccionades.

#### 11.5.3. Transformador

En aplicació de lo disposat en la NTP-IEMT de les Normes particulars de la Companyia FECSA ENDESA, segons el qual queda a decisió del client la instal·lació dels transformadors de potència MT/BT de la seva propietat en el propi Centre de protecció i mesura o en un altre ubicació o local, s'ha decidit en aquest cas la ubicació del transformador previst en el propi Centre de protecció i mesura. Aquesta configuració suposa un estat final de les instal·lacions de MT més compacte, així com una major racionalització i economia de la instal·lació en el seu conjunt.

El transformador previst serà una màquina trifàsica elevadora de tensió, sent la tensió nominal entre fases en el costat de BT de 420V, i de 25kV en el costat de MT.

El transformador a instal·lar tindrà el neutre accessible en baixa tensió i refrigeració natural (ONAN), en bany d'oli mineral.

La tecnologia emprada serà la d'ompliment integral per tal d'aconseguir una mínima degradació de l'oli per oxidació i absorció d'humitat, així com unes dimensions reduïdes de la màquina i un manteniment mínim.

Les seves característiques mecàniques i elèctriques s'ajustaran a lo establert en les Normes UNE 21428-1, UNE 60076 i Especificació Tècnica UNESA 5201-C. El transformador proposat correspon al fabricant ORMAZABAL, encara que es podrà acceptar un transformador d'altre fabricant de les mateixes característiques:

- Característiques nominals del transformador de potència:
  - Potència nominal.....50kVA
  - Tensió nominal primària.....25kV
  - Tensió nominal secundària en buit.....420V
  - Nombre de fases.....3
  - Freqüència nominal.....50Hz
  - Regulació en el primari..... $\pm 2,5\%$ ,  $\pm 5\%$  ó  $+2,5\%$ ,  $+5\%$ ,  $+7,5\%$ ,  $+10\%$
  - Tensió de curtcircuit.....4,5%
  - Grup de connexió.....Yzn11
  - Nivell aïllament:
    - Tensió d'assaig a ona de xoc 1,2/50µs.....170kV
    - Tensió d'assaig a 50Hz 1 min.....70kV
  - Volum d'oli.....130lts
  - Pes total.....475kg

- **Característiques constructives**

Transformador de potencia de 50kVA i relació 25kV/420V marca ORMAZABAL, de dimensions 1263x725x926mm (alçada x amplària x fondària) i 475kg de pes total, amb les característiques següents:

- Cuba d'aletes d'ompliment integral amb tapa superior hermètica, color blau verdós molt fosc del tipus 8010-B10G s/norma UNE 21428.
- Commutador de regulació maniobrable sense tensió.
- Passatapes MT de porcellana.
- Passatapes BT de porcellana.
- Dos terminals de terra en la cuba.
- Dispositiu de buidatge i pressa de mostres.
- Dispositiu d'ompliment.
- Placa de característiques.
- Placa de seguretat e instruccions de servei.
- Dos armelles d'elevació.
- 4 anelles de transport
- 4 dispositius d'arrossegament.
- Dispositiu per allotjar termòmetre.

#### 11.5.4. Quadre de baixa tensió

Serà necessari instal·lar un quadre de baixa tensió connectat directament al costat de BT del transformador de potència. S'ubicarà igualment en el Centre de protecció i mesura previst, annex al transformador. Aquest quadre servirà d'element d'interconnexió entra la sortida de BT de l'inversor previst en l'aerogenerador i el costat BT del transformador de potència, per a possibilitar així l'evacuació de la energia elèctrica generada.

Les seves característiques s'ajustaran a lo establert en la Recomanació Unesa 6302 per aquest tipus de quadres de baixa tensió. En el cas que ens ocupa, al preveure's un únic inversor i conseqüentment una única línia de connexió del mateix al quadre de BT, s'escollirà un quadre tipus QBTA<sup>5</sup> amb possibilitat de connexió d'una única línia. Així mateix, s'instal·laran en el quadre les necessàries proteccions contra sobrecàrregues i curtcircuits en la línia de connexió del inversor al quadre, a més d'una protecció adequada contra contactes indirectes i uns dispositius limitadors de sobretensions permanents i transitoris en la part AC de la instal·lació del aerogenerador. El QBTA proposat correspon al fabricant PRONUTEC, encara que es podrà acceptar un quadre d'un altre fabricant de les mateixes característiques.

- **Característiques nominals del QBTA.**

- Tensió nominal assignada.....440V
- Intensitat assignada del conjunt.....100A
- Intensitat de curta duració:
  - Valor eficaç 1s.....20kA
  - Valor de pic.....50kA

<sup>5</sup> QBTA: Quadre en Baixa Tensió Abonat

- Nivell aïllament:
  - Tensió d'assaig a ona de xoc 1,2/50µs.....20kV
  - Tensió d'assaig a 50Hz 1 min.....10kV
- Grau de protecció.....IP 2X
- Grau de protecció contra impactes mecànics.....IK 08

- **Característiques constructives**

Quadre de Baixa Tensió d'Abonat marca PRONUTEC, de dimensions 1810x580x300mm (alçada x amplària x fondària), amb les característiques següents:

- Envoltant metàl·lica tipus AC4 s/Recomanació UNESA.
- Unitat funcional d'embarrat vertical, constituït per barres de coure tipus C-1110 de secció adequada a les intensitats assignades i amb els accessoris de connexió adequats per a la connexió superior dels cables del transformador de potència, així com la connexió inferior dels cables del inversor del aerogenerador.
- Interruptor general automàtic tripolar amb tensió assignada de 415V i calibre de 100A/50KA amb proteccions tèrmica i magnètica ajustables, intercalat en la unitat funcional de embarrat vertical.
- Bobina de salt a distància associada al interruptor general automàtic amb tensió de alimentació assignada de 230Vac.

#### 11.5.5. Interconnexions de MT amb cable

De forma general, les interconnexions a realitzar amb cable entre els diversos elements de MT previstos en el Centre de Mesurament es realitzaran amb ternes de cable unipolar sec.

- **Interconnexió cel·la de entrega - cel·la de remunt**

La connexió elèctrica entre la cel·la d'entrega (seccionador frontera) del Centre d'entrega i la cel·la de remunt del Centre de protecció i mesura es realitzarà amb una terna de cables unipolars secs de 150mm<sup>2</sup> de secció d'alumini del tipus RHZ1, emprant-se cables de tensió assignada 18/30kV.

Aquests cables disposaran en el seus extrems de connexió de terminals endollables.

- **Interconnexió cel·la de protecció - cel·la de mesura**

La connexió elèctrica entre la cel·la de protecció i la cel·la de mesura del Centre de protecció i mesura, així com entre els elements instal·lats en la cel·la de mesura (transformadors i bornes de sortida), es realitzarà amb ternes de cables unipolars secs de 150mm<sup>2</sup> de secció d'alumini del tipus RHZ1, emprant-se cables de tensió assignada 18/30KV.

Aquests cables disposaran en els seus extrems de connexió de terminals endollables o terminals convencionals de interior, segons sigui el cas.

- **Interconnexió cel·la de línia – trafo**

La connexió elèctrica entre la cel·la de línia del Centre de protecció i mesura i el transformador de potència es realitzarà amb una terna de cables unipolars secs de 150mm<sup>2</sup> de secció d'alumini del tipus RHZ1, emprant-se cables de tensió assignada 18/30kV.

Aquests cables disposaran en els seus extrems de connexió a la cel·la de terminals endollables i en els seus extrems de connexió al transformador de potència de terminals convencionals d'interior.

### 11.5.6.- Interconnexions Trafo-Quadre BT.

La connexió elèctrica entre les bornes de BT del transformador de potència i el embarrat del quadre de baixa tensió s'ha de realitzar amb cable unipolar de 150mm<sup>2</sup> de secció d'alumini del tipus XZ1 (S) 0,6/1kV.

Aquests cables disposaran en els seus extrems de terminals bimetal·lics adequats per la secció dels conductors utilitzats i del tipus de borna i/o cargols de connexió.

- Característiques nominals de la interconnexió trafo-quadre de BT.
  - Secció per fase.....3x150mm<sup>2</sup>
  - Secció del neutre.....1x150mm<sup>2</sup>
  - Naturalesa del conductor.....Alumini
  - Aïllament.....Polietilè reticulat
  - Coberta.....PVC
  - Tensió nominal.....0,6/1kV
  - Intensitat màxima admissible del cable (instal·lat al aire).....420A (Segons ITC-BT 07)

### 11.5.7. Instal·lacions de posada a terra

Les prescripcions que hauran de complir les instal·lacions de posada a terra vénen reflectides perfectament (tensió de pas i tensió de contacte) en el Apartat 1 'Prescripcions generals de seguretat' del Capítol 13 del Reglament sobre Condicions Tècniques i Garanties de Seguretat en Centrals Elèctriques, Subestacions i Centres de Transformació.

- **Sistemes de posada a terra (PaT's<sup>6</sup>)**

Cal distingir entre la línia de terra de la Pat de protecció, la línia de terra de la PaT de servei i la línia de terra de l'aerogenerador

A la línia de terra de la PaT de protecció s'hauran de connectar els següents elements:

- Cuba del transformador de potència.(en dos punts)
- Envoltant metàl·lica del quadre de BT.
- Cel·les de MT (en dos punts)
- Pantalles o enreixats de protecció.

---

<sup>6</sup>PaT: Posades a Terra

- Armadures metàl·liques interiors del centre.
- Pantalla dels cables de MT, extrems connexió cel·la i ambdós extrems en connexió transformador.

A la línia de terra de la PaT de servei, es connectaran:

- Platina de sortida del neutre del quadre de BT.
- Punts comuns dels secundaris dels transformadors de tensió e intensitat de la cel·la de mesura.

A la línia de terra de la PaT de l'aerogenerador, es connectaran:

- Anell de la torre.
- Reforç metàl·lic dels ciments de la torre.

Las PaT de protecció i de servei s'establiran separades, excepte quan el potencial absolut de l'elèctrode de protecció adquireixi un potencial menor o igual a 1.000V, en aquest cas s'establiran terres units.

#### • Formes dels elèctrodes

L'elèctrode de PaT de protecció estarà format per un bucle amb piques enterrat horitzontalment voltant del Centre de Mesurament. Per al elèctrode de PaT de servei, s'utilitzarà un sistema de piques alineades. Finalment per al PaT de l'aerogenerador s'utilitzarà un sistema de piques en anell.

#### • Materials a utilitzar

Tant la línia de terra de la PaT de protecció com la línia de terra de l'aerogenerador es realitzaran amb conductor nu de 50mm<sup>2</sup> de secció de coure, mentre que per la línia de terra de la PaT de servei s'utilitzarà conductor aïllat de 50mm<sup>2</sup> de secció de coure de tensió assignada 0,6/1kV, en instal·lació protegida sota tub de PVC amb grau de protecció 7 contra danys mecànics, que complirà els valors d'aïllament següents:

- Tensió d'assaig a ona de xoc 1,2/50µs.....20kV
- Tensió d'assaig a 50Hz 1 min.....10kV

L'elèctrode de posada a terra de protecció consistirà en un bucle de conductor nu de 50mm<sup>2</sup> de secció de coure, en el que es connectaran piques d'acer-coure de 14,6mm de diàmetre i 2000mm de longitud s/Recomanació Unesa 6501, l'elèctrode de posada a terra de servei consistirà en un sistema de piques alineades, utilitzant per això conductor i piques similars als indicats per al elèctrode de posada a terra de servei.

El sistema de terres de l'aerogenerador estarà format per un anell de 11m de diàmetre constituït per dos piques a una profunditat de 0,5m de les característiques esmentades anteriorment.

Les peces de connexió conductor-conductor i conductor-pica consistiran en grapes de llautó amb cargols d'acer inoxidable, utilitzant el tipus més adequat per a cada cas.

- **Sistema de vorera perimetral**

Amb l'objectiu de garantir que les tensions de pas i contacte admissibles siguin superiors a les resultants, es recorrerà a instal·lar un sistema de vorera perimetral que augmenti la seguretat en la zona d'accés e immediacions del Centre de Mesurament. Aquesta vorera perimetral consistirà en una capa de formigó sec col·locada en tot el contorn del centre, a excepció de la façana, amb una amplada i un espessor mínims de 1m i 10cm respectivament. En la façana del centre, al llinar directament amb la vorera existent, es considerarà que la reposició de la mateixa una vegada realitzats els treballs farà les vegades de vorera perimetral en la zona d'accés.

- **Execució de les posades a terra**

Els elèctrodes de PaT emprats seran:

- PaT de protecció tipus 80-30/8/42, amb un elèctrode de bucle de 8,0 x 3.0m a 0,8m de profunditat i 4 elèctrodes de pica de 2m de longitud en las cantonades del bucle, amb el cap soterrat a 0,5m de profunditat.
- PaT de servei tipus 5/22, amb un elèctrode horitzontal de piques alineades a 0,5m de profunditat i 2 elèctrodes de pica de 2m de longitud, amb el cap soterrat a 0,5m de profunditat i separades entre si 3m.
- PaT de l'aerogenerador tipus 5/22, amb un elèctrode horitzontal de piques encerclades a 0,5m de profunditat i 2 elèctrodes de pica de 2m de longitud, amb el cap soterrat a 0,5m de profunditat i separades entre si 11m.

- **Disposició de las PaT de servei i protecció**

Las PaT de protecció i servei s'establiran separades (com passa la major part de les vegades); l'aïllament de la línia de terra de la PaT de servei haurà de satisfer lo indicat anteriorment, però a mes es complirà la distancia mínima de separació establerta de 12m entre ambos elèctrodes.

- **Disposició de las PaT de servei i protecció**

La PaT de l'aerogenerador s'establirà separada i de forma individual de les altres PaT, segons ITC-BT 40.

### 11.5.8. Instal·lacions auxiliars

- **Enllumenat interior**

El Centre de Mesurament disposarà d'enllumenat interior que haurà de mantenir-se adequadament, de forma que quan s'actui sobre el interruptor o sistema equivalent d'encesa, aquest sigui efectiu.

En el interior del Centre d'entrega s'instal·larà 1 ull de bou estanc amb làmpada de baix consum de 20W, mentre que en el Centre de protecció i mesura s'instal·laran 3 lluminàries més de similars característiques, capaços de proporcionar un nivell d'il·luminació suficient per a la comprovació i maniobra dels elements del centre. El nivell mitjà serà com a mínim de 150lux. Els punts de llum estaran disposats de forma que es mantingui la màxima uniformitat possible en la il·luminació. A més, s'haurà de poder efectuar la substitució de làmpades sense perill de contacte amb altres elements en tensió.

Els interruptors d'enllumenat estaran situats en la proximitat de les portes d'accés amb un pilot que indiqui la seva presència, de forma que el seu accionament no representi perill per la seva proximitat de elements en tensió.

Es disposarà també d'un punt de senyalització i emergència sobre cada porta d'accés, de caràcter autònom amb una autonomia mínima de 30lumen/1h.

- **Equip de telecomandament**

Com es va indicar anteriorment, el Centre d'entrega disposarà d'un equip de telecomandament que possibiliti el seu control i maniobra remots. Per això, s'instal·larà un armari de telecomandament segons especificacions tècniques de la Companyia, el qual comptarà amb un espai reservat per a instal·lar un equip de comunicacions de dimensions 237x285x368mm (alçada x amplària x fondària)

El control integrat de les cel·les del Centre de entrega serà possible gràcies a la instal·lació de comandaments motoritzats en les mateixes, així com de relés de control model ekorRCI amb captadors toroïdals, que proporcionaran las funcions següents:

- Detecció de pas de falta.
- Detecció de presència o absència de tensió.
- Funcionalitat de seccionalitzador automàtic.
- Maniobra del interruptor.
- Estat del interruptor i seccionador de terra.
- Indicació d'anomalia del interruptor.
- Mesura d'intensitat.
- Registre d'històrics.
- Sincronització horària.
- Comunicacions per telecontrol.

- **Senyalitzacions i material de seguretat**

En el Centre de Mesurament es compliran les següents prescripcions:



- En les portes d'accés s'instal·larà un cartell amb la corresponent senyal triangular distintiva de risc elèctric, segons les dimensions i colors que especifica la recomanació AMYS 1.4-10, model CE-14 amb rètol adicional '*Alta tensió. Risc elèctric*'.
- En el exterior e interior, figurarà el nombre de la identificació de FECSA ENDESA del CM. La identificació s'efectuarà mitjançant una placa normalitzada per l'empresa distribuïdora.
- En les portes i pantalles de protecció es col·locarà la senyal triangular distintiva de risc elèctric, segons les dimensions i colors que especifica la recomanació AMYS 1.4-10, model AE-10.
- Les cel·les de AT portaran també la senyal triangular distintiva de risc elèctric adhesiva, equipada en fàbrica.
- Llevat que en els propis aparells figurin les instruccions de maniobra, en el CM, i en lloc corresponent, haurà un cartell amb les instruccions citades.
- Els aparells de maniobra de la xarxa estaran identificats amb el nombre que lis correspongui, en relació amb la seva posició en el circuit general de la xarxa.
- El CM estarà previst de guants i banqueta aïllant de maniobra per a 36kV.

En un lloc visible del interior del CM es situarà un cartell amb les instruccions de primers auxilis a realitzar en cas d'accident, i el seu contingut es referirà a la respiració boca a boca i massatge cardíac. La seva mida serà com a mínim UNE A-3.

#### • Reglament de servei

El Reglament de servei del Centre d'entrega serà l'establert per FECSA ENDESA.

En el Centre de protecció i mesura es tindran en compte, durant la seva explotació, les següents instruccions:

- No es permetrà l'estància en el centre de personal aliè al seu manteniment, a excepció dels tècnics d'Indústria o personal de la Companyia.
- Per a la posta en servei del centre primerament es verificarà que tots els seccionadors e interruptors d'apertura en càrrega estiguin oberts tant en baixa com en alta tensió.
- Es procedirà a tancar tots els seccionadors en buit existents.
- Es procedirà al tancament, manualment, del interruptor automàtic de la línia d'alimentació principal.
- El personal de manteniment estarà instruït en les pràctiques de socors o accidents per electricitat, seguint per això les instruccions que s'indiquen en el quadre de primers auxilis, que obligatòriament haurà en un lloc ben visible en el centre.
- En les operacions i maniobres en el centre, l'operador estarà equipat amb casc i guants de seguretat, a més d'aquells prescrits segons sigui la maniobra a realitzar (perxa, banqueta aïllant)
- Durant la realització de les operacions i maniobres en el centre, la porta d'accés romandrà oberta.
- No es permetrà l'emmagatzematge de materials en el centre.

#### 11.5.9. Equip de mesura en BT

L'equip de mesura en MT a instal·lar respondrà a la norma GE NNE002. L'equip de mesura estarà constituït per els elements següents:

- 3 transformadors d'intensitat.
- 3 transformadors de tensió.
- 1 comptador (s/norma GE NNL004)

- 1 mòdem extern.
- 1 regleta de verificació, que permeti la verificació i/o substitució del comptador, sense tallar la alimentació del subministrament.
- Mòduls de doble aïllament (s/norma GE>NNL006)
- Conductors d'unió entre els secundaris dels transformadors de mesura i el comptador.

Tots els elements que constitueixen l'equip de mesura respondran a un dels models acceptats prèviament per FECSA ENDESA.

Tal i com es va indicar anteriorment, el punt de mesura correspon a un punt de tipus 4, de manera que els elements de mesura compliran amb lo establert per aquest tipus de punts de mesura en el Reglament unificat de punts de mesura del sistema elèctric, en especial en lo relatiu a la seva classe de precisió.

#### 11.5.9.1. Transformadors d'intensitat per mesura

S'instal·laran tres transformadors d'intensitat en la cel·la de mesura en MT del Centre de protecció i mesura. Segons instruccions de FECSA ENDESA, els transformadors a instal·lar tindran doble relació primària.

La carga nominal a la que estaran sotmesos els secundaris de comptatge no hauran d'excedir del 75% de la potència de precisió nominal (s/ UNE-EN 60044-1)

#### • Característiques nominals dels transformadors d'intensitat per a mesura

- Potència nominal..... 10VA
- Intensitat secundària  $I_s$ ..... 5A
- Relació de transformació.....10-20/5A
- Classe de protecció..... 0,5S
- Gama extesa.....150%
- Factor de seguretat  $F_s$ ..... < 5
- Intensitat tèrmica de curtcircuit  $I_{ter}$ :
  - Per a  $I_{pn} \leq 25A$ ..... $200 \cdot I_{pn}$
  - Per a  $I_{pn} > 25A$ ..... $200 \cdot I_{pn}$  (mínim 5000A)
- Intensitat dinàmica de curtcircuit  $I_{din}$  ..... $2,5 \cdot I_{ter}$
- Tensió nominal primària.....25kV
- Tensió mes elevada pel material.....36kV
- Tensió suportada a freqüència industrial.....70kV
- Tensió suportada a impuls tipus llamp.....170kV

#### 11.5.9.2. Transformadors de tensió per mesura

S'instal·laran tres transformadors de tensió en la cel·la de mesura en MT del Centre de protecció i mesura. La carga en els secundaris dels transformadors haurà d'aproximar-se a la seva potència nominal. En cap cas estarà per sota del 50% de dita potència ni el factor de potència serà inferior a 0,8 encara que per això es precisi intercalar càrregues artificials.

- **Característiques nominals dels transformadors de tensió per mesura**

- Potència nominal.....25VA
- Tensió secundària.....110/ $\sqrt{3}$ V
- Classe de precisió.....0,5
- Tensió nominal primària.....27,5/ $\sqrt{3}$ kV
- Tensió mes elevada per al material.....36kV
- Tensió suportada a freqüència industrial..... 70kV
- Tensió suportada a impuls tipus llamp.....170kV

#### 11.5.9.3. Comptador d'energia CT

El comptador a instal·lar haurà de tenir accés exterior permanent per tal de facilitar tasques de manteniment, lectura, verificació, etc. Així mateix, també haurà de ser accessible des de el interior del Centre d'entrega, mitjançant suport basculant, per poder realitzar dites tasques en circumstàncies de climatologia adversa.

El comptador serà del tipus estàtic combinat multi funció, i complirà lo indicat en la norma GENNL004.

S'instal·larà en un mòdul precintable que complirà les condicions de doble aïllament, de forma que el dispositiu de lectura quedi a 1,8m del sòl.

- **Característiques nominals del comptador d'energia**

- Classe de precisió energia activa.....0,5S
- Classe de precisió energia reactiva.....1
- Sistema.....trifàsic
- Nombre de fils.....4
- Tensió de referència.....3x63,5/110V
- Intensitat base  $I_b$ .....5A
- Intensitat màxima  $I_{max}$ .....7,5A
- Freqüència nominal.....50Hz
- Temperatura de funcionament.....-20 a +55°C.

#### 11.5.9.4. Comptador d'energia SS.AA

El comptador a instal·lar haurà de tenir accés exterior permanent per tal de facilitar tasques de manteniment, lectura, verificació, etc. Així mateix, també haurà de ser accessible des de el interior del Centre d'entrega, mitjançant suport basculant, per poder realitzar dites tasques en circumstàncies de climatologia adversa.

El comptador serà del tipus estàtic combinat multi funció, i complirà lo indicat en la norma GENNL004.

S'instal·larà en un mòdul precintable que complirà les condicions de doble aïllament, de forma que el dispositiu de lectura quedi a 1,8m del sòl.

#### 11.5.9.5. Connexionat i Cablejat

Els circuits secundaris de tensió e intensitat hauran d'anar des de els transformadors de mesura fins a la regleta de verificació, per canalitzacions independents i sense encastar de tub aïllant rígid de 32mm de diàmetre exterior.

Els circuits de tensió e intensitat es realitzaran mitjançant conductors de coure, unipolars, semi flexibles i tensió d'aïllament 450/750V. Els cables seran no propagadors de incendi i amb emissió de fums i opacitat reduïda (s/normes UNE 21027-9 ó UNE 211002)

Els conductors dels circuits de comptatge aniran des de els transformadors de mesura directament a la regleta de verificació i no tindran cap entroncament ni derivació en tot el seu recorregut.

El connexionat es realitzarà amb terminals preaïllats apropiats als borns dels transformadors de mesura, regleta de verificació (de punta buida curta) i comptadors de punta buida llarga, de manera que abasti als dos cargols de la caixa de borns.

- **Colors d'identificació del cablejat**

- Fase R..... Negre
- Fase S..... Marró
- Fase T.....Gris
- Neutre.....Blau clar
- Terra.....Groc verd
- Circuits auxiliars.....Vermell

- **Codificació dels extrems dels conductors**

- Entrada d'intensitat.....R,S,T
- Sortida d'intensitat.....RR,SS,TT
- Tensions.....1,2,3,N

- **Seccions mínimes recomanades dels conductors**

- Entre secundaris de transformadors i regleta de verificació:

Circuits de tensió.....6mm<sup>2</sup>  
Circuits d'intensitat.....6mm<sup>2</sup>

- Entre regleta de verificació i equip de comptatge:

Circuits de tensió.....2,5mm<sup>2</sup>  
Circuits d'intensitat.....4mm<sup>2</sup>  
Auxiliars.....1,5mm<sup>2</sup>

#### 11.5.9.6. Regleta de verificació

S'instal·larà una regleta de verificació en mòdul de doble aïllament, de característiques adequades s/normes de FECSA ENDESA i de un model prèviament acceptat per aquesta. La regleta estarà en un pla vertical i la maniobra dels seus elements mòbils serà tal que caiguin pel seu pes del costat dels transformadors, una vegada afluiats els seus cargols.

#### 11.5.9.7. Equip de comunicació i serveis auxiliars

L'equip de comunicació necessari per a la transmissió de dades consistirà en un mòdem GSM, el qual respondrà a un model prèviament acceptat per FECSA ENDESA. S'instal·larà un mòdul de doble aïllament, deixant reservat per això l'espai suficient.

Al costat dels mòduls de doble aïllament, es disposarà d'una alimentació del circuit d'enllumenat del Centre de Mesurament, degudament protegida, per a una base d'endoll bipolar estanca amb presa de terra (230V/16A) El mòdem estarà permanentment alimentat, quedant la base d'endoll lliure.

## 12. Resum del projecte

Centre de Mesurament constituït per Centre d'entrega i Centre de protecció i mesura.

- **Centre d'entrega**

- Emplaçament.....En límit de propietat
- Tipus.....Interior prefabricat
- Escomesa.....Doble circuit subterrani
- Tensió nominal.....25kV
- Nivell d'aïllament assignat.....36kV

- **Centre de protecció i mesura**

- Emplaçament..... En límit de propietat
- Tipus.....Interior prefabricat
- Alimentació.....Des de Centre d'entrega
- Tensió nominal.....25kV
- Nivell d'aïllament assignat.....36kV
- Potència de transformació instal·lada .....50kVA
- Relació de transformació.....25kV/400V
- Mesura.....En Alta Tensió

**DOCUMENT Nº5:  
INTERCONNEXIÓ A LA XARXA**

### 13. Introducció

El generador eòlic incorpora sistemes de control, regulació i protecció per poder desconnectar-se de la xarxa si es produeix qualsevol anomalia, com per exemple tensions diferents al valor nominal, freqüència fora de marges, asimetria de tensions, etc.

En els sistemes de connexió i desconnexió del generador amb la xarxa existeixen diferents factors a tenir en compte com el tipus d'aerogenerador, règim de gir del rotor eòlic (velocitat constant o variable) y el tipus de regulació (stall o pitch).

### 14. Procediment

La operació a de realitzar-se de forma suau per evitar les puntes de tensió, de corrent y de parell. Una connexió inadequada, amb molts intents fallits per connectar el sistema amb la xarxa, afecta a la vida útil dels elements de l'aerogenerador, a més d'ocasionar pertorbacions sobre la xarxa elèctrica exterior.

Un conjunt de sensors mesura contínuament les diferents magnituds mecàniques y elèctriques del aerogenerador i de la xarxa. Només quant les condicions són les adequades, s'acobla el generador a la xarxa. En particular la velocitat de gir de l'aerogenerador ha de controlar-se d'una manera molt precisa, ja que si la connexió es realitza a una velocitat inferior a la requerida, el generador pot passar a funcionar com a motor amb el gran risc d'embalament del rotor, amb la possibilitat de destrucció.

La arrancada s'inicia un cop que el sistema de control ha verificat totes les variables, el vent arriba a una velocitat mínima per poder iniciar la arrancada i la direcció del vent es manté aproximadament constant. D'aquesta manera es aconsegueix evitar que la màquina treballi amb vents a ràfegues.

A continuació s'orienta el rotor i s'allibera el fre elèctric col·locant les pales en posició de operació. L'aerogenerador inicia el seu gir fins arribar a la velocitat mínima per a la que s'activa el sistema de arrancada suau i es produeix la connexió amb la xarxa sense pics de corrent ni de parell resistent. Un cop realitzada la connexió el sistema de control fa un pont en el sistema de arrancada suau i connecta les etapes de compensació de reactiva.

El sistema de connexió suau, normalment està format per un pont trifàsic de trístors que augmenta de forma gradual la tensió en els borns del generador fins arribar a la tensió exigida per la xarxa elèctrica. El sistema controla la velocitat de gir del rotor. Si aquesta es redueix a per sota de un cert valor, el sistema ordena la desconnexió de la compensació de reactiva i la de l'aerogenerador de la xarxa.

Quan es redueix la càrrega elèctrica del aerogenerador, el rotor eòlic tendeix a augmentar la seva velocitat de gir. Si està pròxim a un cert valor límit, s'inicia el frenat aerodinàmic de les pales (sistema stall o pitch), frenant el rotor, però sense desconnectar el aerogenerador de la xarxa per seguir tenint un cert parell resistent i així evitar el embalament del rotor eòlic. Fins que la velocitat no disminueixi al punt de la velocitat de sincronisme, no es produirà la desconnexió. En el nostre cas de rotor amb regulació activa (pitch), el frenat es aconsegueix mitjançant la variació de l'angle de variació de la pala.

Quan es presenta la parada del aerogenerador per pèrdua de xarxa o sortida dels marges de operació, en el cas de rotors eòlics de pas fixe, tenen que activar-se els aero-frens o en el nostre cas de pas variable tenen que col·locar-se les pales en posició de bandera ja que es perd el parell resistent del generador elèctric i per tant la màquina tendeix a accelerar-se. Si es produeix aquesta incidència el aerogenerador té que desconnectar-se immediatament de la xarxa.

## 15. Problemes a la interconnexió amb la xarxa

En la interconnexió de una turbina eòlica amb la xarxa elèctrica, es poden produir diverses incidències, que poden afectar tanta al funcionament de la xarxa com al propi aerogenerador.

Les incidències del aerogenerador sobre la xarxa son:

- Variacions de tensió
- Freqüència
- Potència activa i reactiva
- Harmònics
- Flicker o transitoris

Les incidències de la xarxa sobre la maquina eòlica son:

- Forats y microtallades.
- Desequilibri de tensions.
- Harmònics de tensió.

En la interconnexió aerogenerador xarxa els aspectes mes importants a destacar son aquets dos:

- Arrancada de l'aerogenerador.
- Qualitat de la onda elèctrica generada.

### 15.1. Arrancada de l'aerogenerador

En general, l'aerogenerador esta previst que per a velocitat baixes de vent funcioni en buit. Quan el vent arriba a unes velocitats de vent a partir de 3m/s, la maquina eòlica pot començar a subministrar potencia neta i per tant es te que connectar a la xarxa.

Si no es produeix aquesta connexió el rotor tendeix a embalar-se ja que nomes te com a carrega el corresponent a la caixa multiplicadora y al generador elèctric en buit que no es suficient per absorbir la potencia eòlica que desenvolupa el rotor.

Si la connexió amb la xarxa es produeix de manera brusca, a traves d'un interruptor de contactes mecànic, segons el tipus de aerogenerador podria produir-se una caiguda brusca de la tensió en la xarxa degut a la important corrent de magnetització requerida per el generador elèctric per el seu funcionament, seguit a continuació de un gran pic de corrent produït per l'aportació de potencia del generador a la xarxa. La connexió brusca de una potencia eòlica important sobre la xarxa produiria una pertorbació en la tensió d'aquesta important.

Per evitar aquest fenomen, els aerogeneradors actuals van previstos de un sistema d'arrancada suau (soft start) format per un interruptor electrònic amb tristor, sense parts mòbils mecàniques i que controla la connexió i desconnexió de la xarxa a traves del angle de tall de la onda.

El sistema de arrancada suau te un rendiment de entre el 98-99%. Per disminuir les petites pèrdues que te aquest sistema en la arrancada, es disposa de un interruptor mecànic en paral·lel, que s'activa immediatament després que la turbina arrenqui, i estigui connectada a la xarxa, per evitar que la energia circuli a traves de l'interruptor electrònic amb tristor durant el funcionament normal de l'aerogenerador.



Així un cop produït l'arrancada i la connexió, el corrent generat es deriva a la xarxa a través de un interruptor mecànic.

## 15.2. Qualitat de la ona elèctrica generada

Es requereix que la energia injectada a la xarxa no pugui pertorbar ni contaminar la tensió i freqüència de la mateixa. Els problemes més freqüents associats a la qualitat de la ona generada per l'aerogenerador són:

- Variacions de la freqüència.
- Fluctuacions de tensió i Flicker.
- Forats i microtalls.
- Distorsió harmònica.
- Desequilibri de tensions.

La qualitat de la ona de tensió generada per el generador requereix estabilitat en la tensió i en la freqüència, mantenint els valors dintre dels marges de la tolerància respecte els valors de referència o valors nominals.

Diverses causes com per exemple la variabilitat i pertorbacions en la velocitat del vent o el pas enfront de la torre (efecte ombra) poden afavorir les fluctuacions de tensió i en particular el efecte Flicker. Les operacions de connexió i desconnexió afavoreixen la aparició de forats i microtalls a la tensió generada per l'aerogenerador, per això és important l'ús de l'arrancada suau ja que disminueix aquestes incidències.

El flicker són variacions lentes de la tensió de curta duració, de l'ordre d'alguns segons a un minut, que provoquen el parpelleig de les bombetes. Aquest fenomen s'accentua si l'aerogenerador està connectat a una xarxa de poca potència. Per altra banda el Islanding és un fenomen, que pot presentar-se si una secció de la xarxa es desconnecta de la xarxa principal, com pot succeir en el cas de una parada elèctrica o de una falta (curtcircuit) a la xarxa.

El sistema de control electrònic del sistema eòlic té que controlar contínuament els valors de la tensió, freqüència y seqüència de fases per desconnectar immediatament la turbina eòlica de la xarxa si es produeixen desviacions respecte els valors de referència d'aquels paràmetres.

## 16. Comportament de l'aerogenerador en forats de tensió

Un forat de tensió és una disminució brusca de la tensió seguit del seu restabliment després d'un curt espai de temps. Està permès que la duració d'aquels forats estigui entre 10ms i 1minut. A Europa amb una freqüència de 50 Hz el període de la ona és de 20ms. Un gran percentatge de forats de tensió tenen una durada de entre 10 i 500ms. Donada la seva curta duració molts cops passa desaparegut per l'usuari però no per els aparells electrònics que poden patir una modificació de funcionament.

Un microtall és un forat de tensió en el que la tensió cau a zero.

Els forats de tensió apareixen per diferents causes:

- Sobretensions per descarregues atmosfèriques.
- Maniobres de connexió i desconnexió de interruptors.
- Aparició d'una falta.
- Desaparició d'una falta.

Quant a la xarxa es produeix una falta de tensió, es produeix un augment de la velocitat del rotor de l'aerogenerador, ja que la energia del vent no pot ser injectada a la xarxa. Aquest augment de la velocitat no només pot afectar a la integritat de la maquina sino que també afecta a la corrent evacuada a la xarxa que pot no complir amb les exigències de freqüència. Per aquesta raó es necessari desconnectar-se de la xarxa quan trobem un zero de tensió.

## 17. Procediments d'operació enfront forats de tensió

Mentre la potencia eòlica instal·lada al estat Espanyol va ser petita, la desconnexió d'un aerogenerador no afectava sensiblement a la estabilitat del sistema però en la actualitat això a canviat. Donat que ara la potencia eòlica instal·lada es mes important en la capacitat total instal·lada, se han establert una sèrie de requisits que han de complir els aerogeneradors per no desconnectar-se mentre els forats de tensió per que no perilli la estabilitat del sistema elèctric nacional.

En l'estat Espanyol el procediment de operació dels aerogeneradors enfront aquest forats de tensió es regeix pel (P.O.12.3). Per garantir continuïtat i evitar desconnexions innecessàries que provocarien inestabilitat a la xarxa, se exigeix als aerogeneradors que puguin suportar sense desconnectar-se un forat de tensió estàndard o de referencia, de les característiques del que es mostra a la figura següent:

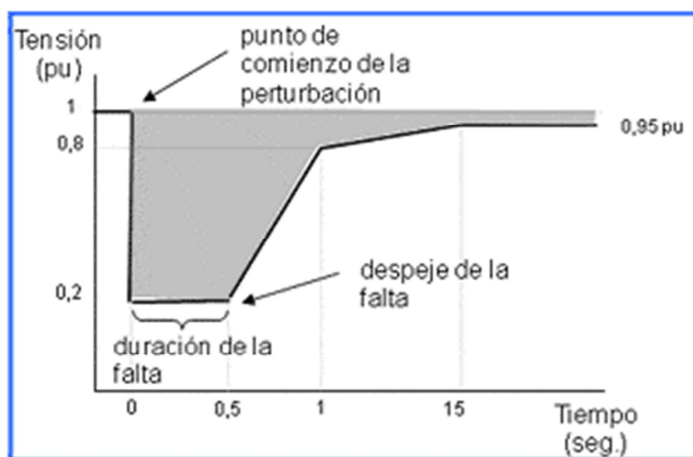


Figura 17.1. Forat de tensió estàndard. Tensió per unitat (pu) zona de no desconnexió

El aerogenerador te que estar dissenyat per poder suportar aquest tipus de forats de tensió sense que es produeixi una desconnexió de la xarxa en la zona ombrejada de la figura anterior.

Per una producció eòlica inferior al 5% de la potencia de curtcircuit en el punt de connexió a la xarxa, el aerogenerador ha de continuar connectat sempre que es produeixin règims transitoris de la tensio fase-terra que estiguin al interior de la zona ombrejada del forat de tensió estàndard. Si la falta que origina el forat es un curtcircuit bifàsic aïllat de terra, en lloc de un curtcircuit fase-terra, el límit inferior es de 0,6 pu en comptes de 0,2 pu.

Des de el punt de vista de la resposta enfront forats de tensió i manteniment de la continuïtat del subministra, la configuració menys fiable es la del aerogenerador amb el rotor a velocitat constant y generador asíncron amb rotor de gàbia d'esquirol.

La configuració de rotor de velocitat variable y generador asíncron amb rotor doblement alimentat suporta molt millor els forats de tensió, sent la configuració amb generador síncron accionat per rotor eòlic amb velocitat variable y convertidor per la potencia nominal de la maquina la que presenta la millor resposta.

Durant el transitori del forat de tensió originat per la falta y posteriorment la reposició de la mateixa, el aerogenerador a de complir amb certes exigències relatives a la potencia activa i reactiva. Es fa distinció entre les faltes trifàsiques i les mono/bifàsiques.

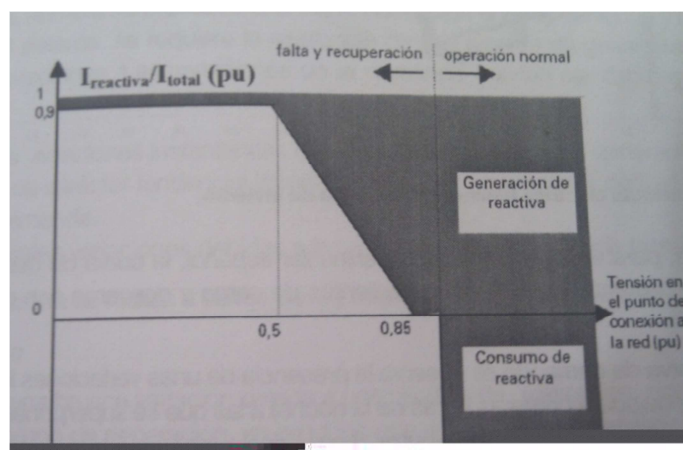


Figura 17.2. Forat de tensió

El P.O.12.3 no admet en general consum de potencia activa ni reactiva per a faltes trifàsiques. Nomes admet certs consums puntuals. Durant la falta, s'exigeix que la instal·lació generi la màxima intensitat reactiva possible durant els posteriors 150ms a la falta i també durant el posteriors 150ms al inici del restabliment.

Per a faltes mono i bifàsiques tampoc s'admeten consums de activa i reactiva, encara que es permet un consum puntual amb especificacions diferents a les de las faltes trifàsiques.

**DOCUMENT N°6:  
CÀLCULS JUSTIFICATIUS**

## 18. Càlculs justificatius

Seguidament detallarem el seguit de càlcul i procediment que hem utilitzat per calcular les línies elèctriques, els dispositius de protecció, i el càlcul lumínic. Els següents càlculs s'han realitzat en base a la reglamentació vigent per a instal·lacions elèctriques de alta i baixa tensió.

### 18.1. Càlcul d'estudi eòlic

#### 18.1.1. Càlcul de la potencia del vent

Per calcular la potencia en Watt per metre quadrat ( $\text{W/m}^2$ ) d'un vent que bufa a una velocitat  $v$  (m/s), s'expressa mitjançant la següent fórmula:

$$P = 0,5\rho v^3$$

**Equació 18.1. Potència del vent**

on:

$\rho$ : Densitat de l'aire [en  $\text{kg/m}^3$ ]  
 $v$ : Velocitat del aire [m/s]

La densitat de l'aire depen de variables tals com la pressió atmosfèrica, el factor de compressibilitat adimensional, la temperatura termodinàmica o la fracció molar de vapor d'aigua, i també depèn de constants com la massa molar de l'aire sec o la constant molar dels gasos. La densitat de l'aire es calcula amb la fórmula que es detalla a continuació:

$$\rho = \frac{pMa}{ZRT} \left[ 1 - X_v \left( 1 - \frac{Mv}{Ma} \right) \right]$$

**Equació 18.2. Densitat de l'aire, en funció de la pressió i la temperatura**

$p$ : Pressió atmosfèrica. [Pa]  
 $Ma$ : Massa molar de l'aire sec. [cte.=0,0289635] [kg/mol]  
 $Z$ : Factor de compressibilitat adimensional.  
 $R$ : Constant molar dels gasos. [cte.=8,31451]  
 $T$ : Temperatura termodinàmica. [K]  
 $X_v$ : Fracció molar de vapor d'aigua, adimensional .  
 $Mv$ : Massa molar del vapor d'aigua. [cte.=0,0180154] [kg/mol]

En el cas del nostre projecte la densitat de l'aire  $\rho$ , en un lloc proper a la zona de construcció del aerogenerador, el valor del qual s'ha obtingut de la Web del Atlas Eòlic de Catalunya, veiem que aquest valor es:

$$\rho = 1,217 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

S'ha de tenir present que la densitat de l'aire varia amb la temperatura i la elevació. L'aire calent es menys dens que el fred, d'aquesta manera, qualsevol turbina produirà menys a l'estiu que l'hivern, a velocitat constant.

La fórmula per calcular el vent a diferents altures, és la següent:

$$v = v_{ref} \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z_0}\right)}$$

**Equació 18.3. Càlcul de la velocitat a diferents altures**

Essent:

$Z_{ref}$  = Altura del anemòmetre.

$V_{ref}$  = Velocitat mesurada del anemòmetre.

$Z$  = Altura sobre el nivell del mar.

$Z_0$  = Longitud de rugositat en la direcció del vent actual.

A l'estudi, s'utilitzarà les diferents dades recollides per l'estació meteorològica de Font-rubí codi (DI), per calcular les velocitats del vent a diferents altures. La altura a la que es troba l'estació i la velocitat mitja del vent recollides son:

$$H_{(ANEMÓMETRE)} = 10 \text{ m}$$

$$V_{(ANEMÓMETRE)} = 6,13 \text{ m/s}$$

## Estacions automàtiques (XEMA)

### Font-rubí

[Veure últimes dades](#) [Dades de període](#)

**Codi:** DI  
**Municipi:** Font-rubí  
**Comarca:** Alt Penedès  
**X UTM (m):** 385118  
**Y UTM (m):** 4587935  
**Altitud (m):** 415  
**Variables:** Velocitat del vent a 10 m (m/s)  
 Direcció del vent a 10 m (graus)  
 Temperatura (°C)  
 Humitat relativa (%)  
 Pressió atmosfèrica (hPa)  
 Precipitació (mm)  
 Irradiància solar global (W/m2)  
**Data inici:** 18/06/1998  
**Data baixa:**  
**Tipus dada de període:**



**Figura 18.1. Informació de l'estació meteorològica (DI)**

A l'estudi del vent, vist el càlcul de probabilitats de Weibull, suposarem una velocitat nominal constant:

$$V_1 = 8,13 \text{ (m/s)}$$

Classe de rugositat		0	0,5	1	1,5	2	3	4
Longitud de rugositat	Altura (m)	0,0002	0,0024	0,03	0,055	0,1	0,4	1,6
	150	8,915	9,447	10,454	10,841	11,323	13,128	17,666
	140	8,869	9,388	10,369	10,746	11,216	12,976	17,398
	130	8,82	9,324	10,278	10,645	11,101	12,812	17,109
	120	8,767	9,256	10,18	10,535	10,977	12,634	16,798
	110	8,71	9,181	10,073	10,416	10,843	12,441	16,459
	100	8,647	9,1	9,956	10,285	10,695	12,23	16,089
	90	8,578	9,01	9,827	10,141	10,532	11,997	15,679
	80	8,5	8,909	9,682	9,98	10,35	11,736	15,22
	70	8,412	8,795	9,518	9,797	10,143	11,44	14,701
	60	8,311	8,663	9,329	9,585	9,904	11,099	14,101
	50	8,191	8,507	9,10	8,13	9,622	10,695	13,392
	40	8,044	8,316	8,831	8,77	9,276	10,201	12,524
	20	7,854	8,07	8,478	8,635	8,831	9,563	11,404
	10	7,587	7,723	7,981	8,08	8,203	8,665	9,827
	9	7,13	7,13	7,13	7,13	7,13	7,13	7,13
	8	7,061	7,04	7,001	6,986	6,967	6,897	6,72
	7	6,983	6,939	6,856	6,824	6,785	6,636	6,262
	6	6,895	6,825	6,692	6,641	6,578	6,34	5,742
	5	6,793	6,693	6,503	6,43	6,339	5,998	5,143
	4	6,673	6,537	6,279	6,18	6,057	5,595	4,433
	3	6,526	6,346	6,005	5,874	5,711	5,1	3,565
	2	6,337	6,1	5,652	5,48	5,266	4,463	2,446
	1	6,069	5,753	5,155	4,924	4,638	3,565	0,868

**Taula 18.1. Diferents velocitats en funció de l'altura i de la rugositat**



S'interpreta que la probabilitat de la velocitat nominal es de 0,7755, amb el qual tindrem una utilització del aerogenerador de 0,7755 vegades les hores de l'any (8760 hores/any). Suposarem dita velocitat com la velocitat nominal, i més endavant estudiarem el comportament del generador i la seva producció en funció de la variació de la velocitat, encara que fent un estudi de la variació del vent en la zona triada, veiem que la velocitat nominal de 8,1 es compleix en un alt percentatge d'hores al dia.

Substituint els valors de la densitat i de la velocitat nominal a la fórmula de la potència del vent per cada metre quadrat, obtenim:

$$P = 0,5 \cdot 1,217 \cdot (8,13)^3 = 326,988 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Cal tenir present que la potència del vent varia amb el cub de la velocitat del vent, d'aquesta manera, un increment petit en la velocitat, canviarà substancialment la potència d'aquest. Veiem, ara, com influeix l'augment de la velocitat en la potència del vent, amb un augment de 1 m/s de la velocitat.

Per  $V_2 = 9,13 \text{ m/s}$  i seguint en la Equació (8-2), arribem a:

$$P = 0,5 \cdot 1,217 \cdot (9,13)^3 = 463,09 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Si comparem les dues potències, veurem la relació entre totes dues i com ha afectat aquest augment de la velocitat en la potència del aire, partint de les expressions:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^3$$

#### **Equació 18.4. Comparació de potències entre dues velocitats**

Substituint:

$$P_2 = 1,41 \cdot P_1$$

Veiem com a resultat a aquest càlcul, que amb un augment de 1m/s, la potència de l'aire obtinguda augmenta en un 41 %.

## 18.2. Càlcul de la distribució de probabilitats

Es veurà més endavant que el aerogenerador no produeix energia per qualsevol tipus de velocitat, en el nostre cas, la turbina eòlica comença a generar a partir de la velocitat de 3 m/s fins a un màxim de 25 m/s, de tal forma que tots els temps del vent en que la seva velocitat sigui diferent a aquest interval, no produïrem energia, es a dir, la nostra turbina multipales funcionarà, per a valors de la velocitat del vent, des de 3,1 fins a 24,9 m/s.

Pel càlcul de probabilitats, apliquem la següent fórmula:

$$P(V_X \leq V \leq V_Y) = e^{-\left(\frac{V_X}{A}\right)^K} - e^{-\left(\frac{V_Y}{A}\right)^K}$$

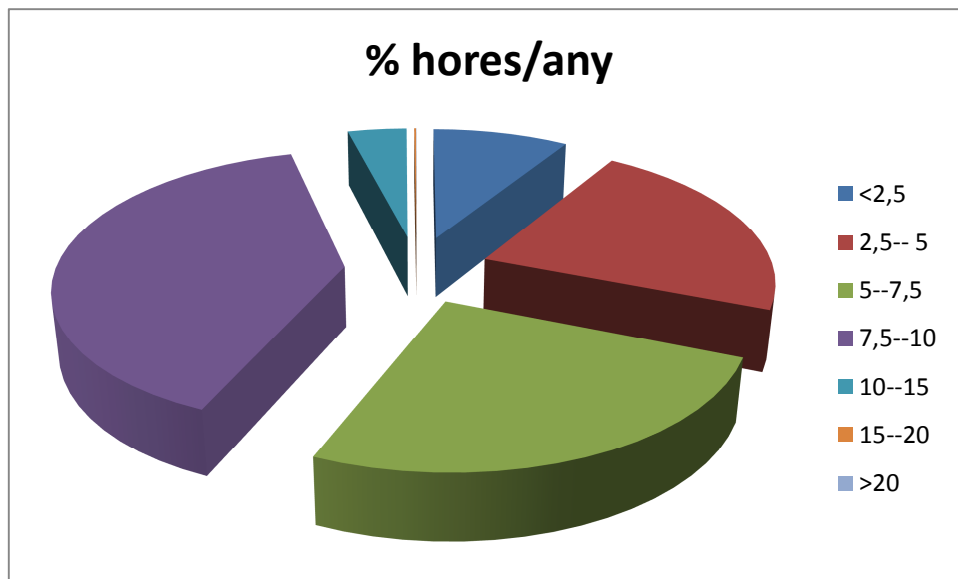
**Equació 18.5. Càlcul de probabilitats entre dues velocitats.**

### 18.2.1. Taula de probabilitats

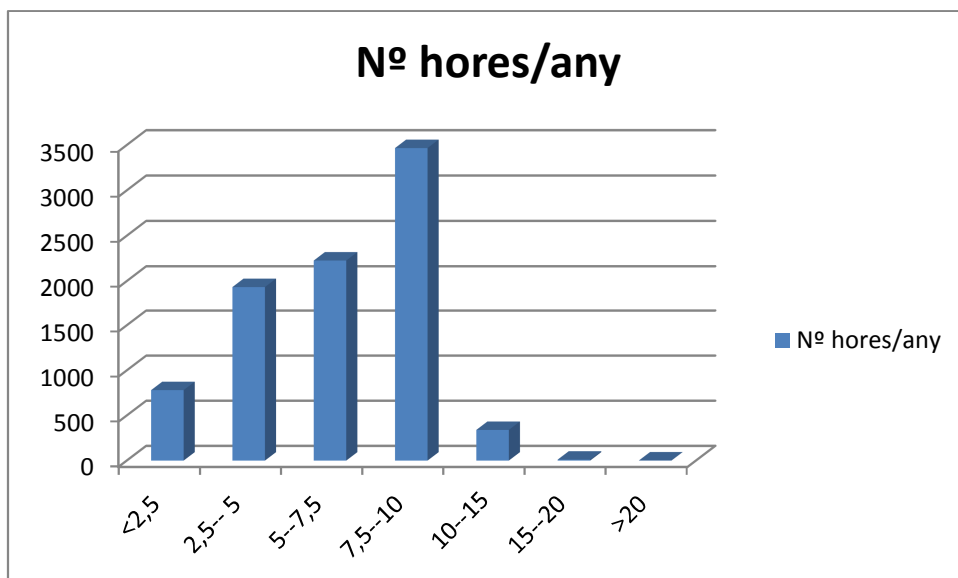
Resultats obtinguts:

Velocitat del vent	% hores/any	Nº hores/any	Probabilitat
<2,5	8,92	781,3	0,09
2,5-- 5	22,08	1934,2	0,22
5--7,5	25,41	2226,3	0,23
7,5--10	39,57	3466,5	0,26
10--15	3,88	340	0,18
15--20	0,12	10,3	0,02
>20	0,02	1,4	0,001

**Taula 18.2. Taula de probabilitats dels vents.**

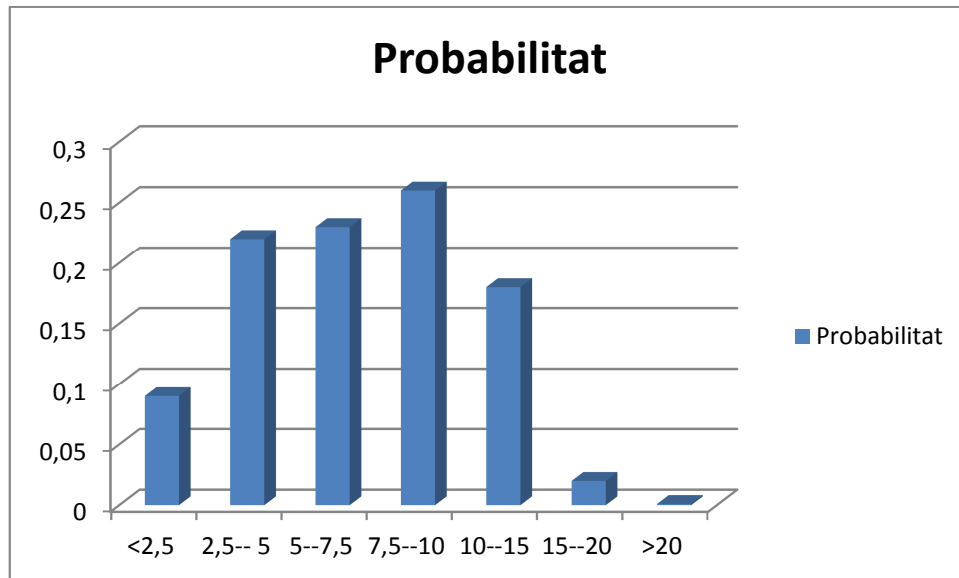


**Figura 18.2.** Gràfica de percentatge de hores de vent per any



**Figura 18.3.** Gràfica de Nº hores de vent per any

Partint de que l'any compta amb 8760 hores, a partir d'aquest valor podem trobar la freqüència amb que tenim dites velocitats de vent a l'any.

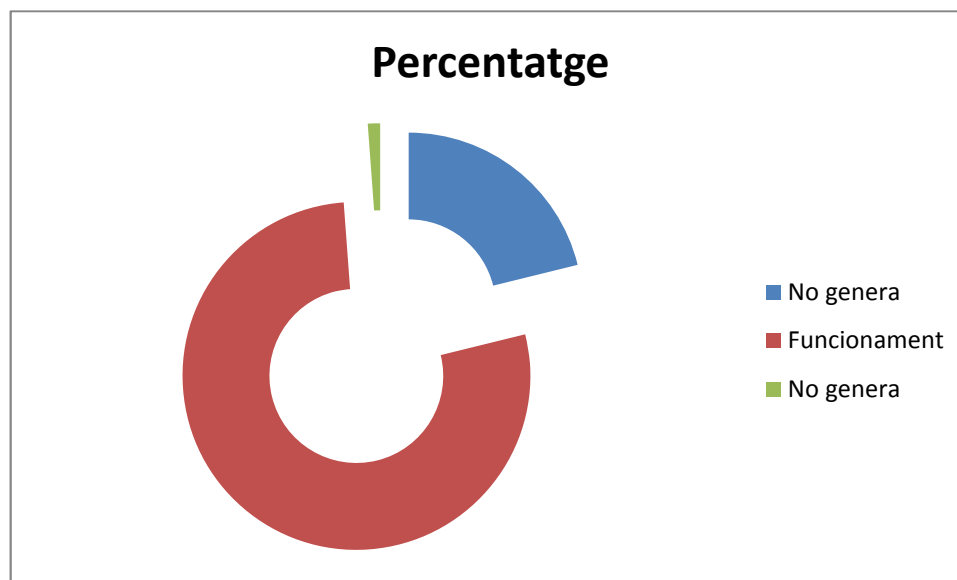


**Figura 18.4.** Gràfica de probabilitats de vents

### 18.2.2. Probabilitat de funcionament

Aeolos-H 30Kw	Velocitat del vent	Probabilitat	%
No genera	Velocitats < 3	0,211	21,1
Funcionament	3,1 < Velocitats < 24,9	0,7755	77,55
No genera	Velocitats > 25	0,0115	1,15

**Taula 18.3. Règim de funcionament de l'aerogenerador**



**Figura 18.5. Gràfica de percentatge probabilitats de vents**

Hi ha que tenir present, com s'indica més endavant, que amb el generador, es treballa a freqüència variable, amb el qual la producció d'energia elèctrica no serà la mateixa per qualsevol velocitat capaç de fer girar el rotor.

Encara que la probabilitat de 0,7755 comprèn un tram de velocitats de entre 4 i 18.9 de velocitat del vent, suposarem, pel càlcul d'energia total produïda al any, que dita probabilitat correspon a la velocitat nominal de funcionament de 8,13 m/s.

### 18.2.3. Àrea interceptada pel vent

Ara cal fer el càlcul de l'àrea que intercepta el vent, que és l'àrea escombrada pel rotor de la turbina. Considerarem el àrea (A) com un disc circular:

$$A = \pi R^2$$

**Equació 18.6.-Àrea escombrada per les pales**

on:

R: radi del rotor [m]

Veiem que el radi del rotor del aerogenerador té una longitud de 6,25 metres. Substituïm aquest valor a l'equació anterior:

$$A = \pi R^2 = \pi (6,25)^2 = 122,7184\text{m}^2$$

#### 18.2.4. Energia produïda

Un increment relativament petit en la longitud del aspa produeix un gran increment en el área escombrada i de la mateixa forma en la potencia. No hi ha cap concepte que més clar, que expliqui el potencial eòlic, que el diàmetre del rotor. Una vegada trobada l'àrea efectiva del rotor i coneixent la fórmula:

$$P = 0,5 \cdot A \cdot \rho \cdot v^3$$

**Equació 18.7. Potència capturada per la turbina eòlica**

Ens donarà el valor de la potència del vent (P) que incideix en el nostre aerogenerador, partint dels valors de la densitat, l'àrea calculada anteriorment i la velocitat nominal:

$$P = 0,5 \cdot 1,217 \cdot 122,7184 \cdot (8,13)^3 = 40127,4815\text{W}$$

Hem de tenir en compte, una vegada calculada la potencia de l'aire en funció del nostre motor, que els rotors més sofisticats aerodinàmicament poden capturar quan més un 45 % de l'energia del vent, és a dir:

$$P = 40127,4815 \cdot 0,45 = 18057,3669\text{W}$$

Altre factor a tindre en compte, es que els generadors de petites turbines eòliques, rarament converteixen més del 90% de la seva energia, de tal forma, la potencia útil serà:

$$P = 18057 \cdot 0,85 = 15348,7616\text{W}$$

#### 18.2.5. Producció eòlica anual

Considerant unes pèrdues importants de l'energia del vent, triem un aprofitament de la energia eòlica del 20% ja que les turbines típiques extreuen aproximadament un 20% o menys de l'energia disponible del vent anualment.

Fent una previsió de la energia eòlica anual (PAE), veiem:

$$PAE = 0,5 \cdot 1,217 \cdot 122,7184 \cdot (8,13)^3 \cdot (0,7755) \cdot (8760) \cdot (20\%) \cdot (1kW/1000W) = 54.520 \text{ (kWh/any)}$$

### **18.3. Càlculs mecànics**

#### **18.3.1. Aerogenerador**

Fa referència al càlcul de l'esforç del vent sobre la torre i la intenció d'evitar la bolcada de la mateixa mitjançant l'aportació del formigó en la base de la torre capaç de contrarestar l'esforç negatiu sobre la torre.

Pel càlcul dels esforços, es parteix del aerogenerador triat que utilitzem per la finalitat del projecte; en aquest cas parlem del model Aeolos-H 30kW, una torre tubular de 24 metres d'altura amb un diàmetre de 1,05m la part baixa, i una cimentació de base circular de 1,8 m de diàmetre.

S'estudiarà el cas més desfavorable pel càlcul dels esforços, de tal forma que, es considera que el vent es perpendicular a la torre i les pales.

##### *18.3.1.1. Càlcul d'esforços*

Per evitar l'ensorrament del aerogenerador, l'esforç vertical haurà de ser major que l'esforç horitzontal.

##### *18.3.1.1.1. Força vertical*

L'esforç vertical,  $F_v$ , correspon al pes total de la estructura muntada sobre la base circular de 1,8 metres de diàmetre. Està formada pels pesos de la torre, del generador.

$$F_v = P_t + P_g$$

**Equació 18.8. Esforç vertical**

on:

Pt: Pes de la torre

Pg: Pes del generador

En aquest cas, el pes de la torre és 4000 kg i el pes del generador és 1380 kg, llavors la força vertical és:

$$F_v = 4000 + 1380 = 5380 \text{ kg}$$

#### 18.3.1.1.2. Força Horitzontal

L'esforç horitzontal,  $F_h$ , correspon per exemple, a l'esforç produït per agents exteriors com el causat pel vent.

$$F_h = F_{vt} + F_{vp}$$

**Equació 18.9. Esforç horitzontal**

Pel càlcul dels esforços verticals, s'han d'aplicar les equacions següents:

$$F_{vp} = K \cdot v^2$$

**Equació 18.10. Esforç pales**

$$F_{vt} = C_a H t \cdot v^2$$

**Equació 18.11. Esforç torre**

essent,

$C_a$  : Coeficient de resistència de la torre al aire

$Ht$ : Longitud de la torre

$V$ : Velocitat màxima del vent

$K$  : Constant que depèn de l'àrea efectiva del captador d'aire, en aquest cas,  $0,5 \cdot 0,125 \cdot 113,4$

Apliquem les Equacions (A.1.10/A.1.11), i els valors corresponents pel cas més desfavorable, per això

$K = 7,08$  i la velocitat màxima del vent és de 25 m/s.

$$F_{vp} = 7,08 \cdot (30)^2 = 6.372 \text{ kg}$$

$$F_{vt} = 0,0555 \cdot 24 \cdot (30)^2 = 1.188 \text{ kg}$$

$$F_h = F_{vt} + F_{vp} = 6.372 + 1.188 = 7.560 \text{ kg}$$



### 18.3.1.2. Cimentació de la torre

Una vegada calculats els esforços de la torre, s'ha d'efectuar una base de formigó que ajudarà en gran mesura a superar els esforços de l'ensorrament. La torre estarà sustentada per un bloc de formigó preparat, amb les dimensions que es calcularan a continuació.

Pel càlcul següent s'ha optat pel mètode de Sulzberger<sup>7</sup>, aquest mètode es el recomanat en la norma VDE 0210/569 ideal pel càlcul de postes de dimensions grans.

S'ha de tindre en compte unes premisses descrites a continuació:

- a:  $\pi \cdot R^2$
- t:  $1,5 \cdot E_m$
- tg  $\phi$ : 0,01 (que serà la màxima inclinació permesa de la torre)

Descrivint els paràmetres:

$E_m$ : Altura d'encastament de la torre [m]

t: Profunditat de la cimentació [m]

a: Àrea de la cimentació [m<sup>2</sup>]

h: Alçada de la torre [m]

### 18.3.1.3. Altura d'encastament

Fa referència a la profunditat a la que hi anirà soterrada i subjectada la torre, particular per suportar els esforços produïts pel vent sobre la torre. L'altura d'encastament es calcula amb la següent equació.

$$E_m = \left( \frac{L}{200} \right) + 0,25$$

**Equació 18.12. Altura d'encastament**

---

<sup>7</sup> Mètode de Sulzberg: Es basa sobre un principi verificat experimentalment, que per a les inclinacions limitades tals que tg  $\alpha < 0,01$ , el terreny es comporta d'una manera elàstica. En conseqüència s'obté reacció de les parets verticals de excavació i normals a la força actuant sobre el poste

Per l'aerogenerador de 24 metres d'altura, l'altura d'encastament és:

$$E_m = \left( \frac{24}{200} \right) + 0,25 = 0,37m$$

L'aerogenerador tindrà una cimentació, calculat mitjançant un cub de les següents dimensions.

$$V = t \cdot \pi \cdot R^2$$

**Equació 18.13. Volum de la cimentació**

$$V = (3,5 \cdot 0,37) \cdot \pi \cdot 0,9^2 = 3,2953 \text{ m}^3$$

#### 18.3.1.4. Pes del formigó (Ght)

Es calcula el pes de la plataforma on restarà l'aerogenerador.

$$G_{ht} = \varphi_{hs} \left( A^2 \cdot t - \frac{\pi \cdot D^2 \cdot e_m}{4} \right)$$

**Equació 18.14. Pes del formigó**

$$G_{ht} = 2500 \cdot \left( 1,32^2 \cdot (3,5 \cdot 0,37) - \frac{\pi \cdot 1,3^2 \cdot 0,37}{4} \right) = 4.413,24632 \text{ kg}$$

on:

$\varphi_{hs}$ : Pes específic del formigó sense armar

D: Diàmetre base de la cimentació

El pes del formigó, s'ha de sumar als esforços verticals.

*18.3.1.5. Esforç total en l'aerogenerador*

El total de kg que s'oposen a l'ensorrament:

$$F_v = 4000 + 1380 + 4413,2463 = 9.793,2463 \text{ kg}$$

Davant la força màxima d'ensorrament produïda pel vent:

$$F_h = F_{vt} + F_{vp} = 1.188 + 6.372 = 7.560 \text{ kg}$$

La força vertical és més gran que la força horitzontal, d'aquesta manera no haurà problemes d'ensorrament.

## 19. Càlculs elèctrics

### 19.1. Justificació dels conductors d'Alta Tensió

**Tram descrit:** Primari transformador a línia de distribució propietat de la Companyia distribuïdora.

A priori, el cable escollit per a la interconnexió entre els diferents elements que constitueixen l'aparellatge d'alta tensió, serà:

- Cable 18/30 kV RHZ1 3x150 K Al + H16

A continuació es justificarà la secció dels conductors, tant per a suportar intensitats nominals com de curtcircuit.

### 19.2. Càlcul de la intensitat nominal de la instal·lació

$$I_s = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 25 \cdot 10^3} = 1,15 \text{ A}$$

**Equació 19.1. Intensitat primària transformador**

### 19.3. Càlcul de la intensitat permanent de curtcircuit

Per al càlcul de la intensitat permanent de curtcircuit prenem una potència de curtcircuit de la xarxa de distribució de 500MVA.

$$I_{cc} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{500 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 25 \cdot 10^3} = 11,55 \text{ kA}$$

**Equació 19.2. Intensitat curtcircuit. (Valor Sec companyia distribuïdora)**

### 19.4. Càlcul de la secció mínima.

$$S = \sqrt{\frac{I_{cc}^2 \cdot t}{C \cdot \Delta T}} = \sqrt{\frac{11,55^2 \cdot 0,60}{57 \cdot 160}} = 93,68 \text{ mm}^2$$

**Equació 19.3. Expressió secció mínima per M.T**

Essent:

- $I_{cc}$ : Intensitat de curtcircuit [kA]
- $t$ : Temps màxim de desconexió de l'element de protecció [s]
- $C$ : Constant del material [ $Al=57$ ]
- $\Delta T$ : Increment de temperatura admissible pel pas d' $I_{cc}$  [ $^{\circ}C$ ]

## 19.5. Comprovació del cable escollit

### (A) Comprovació per intensitat màxima admissible

Segons les dades del fabricant, la intensitat màxima admissible pel cable escollit es:

$$I_{max} = 245A \text{ (Segons UNE 211435 Taula A.3.2.)}$$

Molt superior a la intensitat nominal de la instal·lació calculada anteriorment.

### (B) Comprovació per intensitat de curtcircuit

La intensitat tèrmica equivalent en funció del temps de desconexió ve donada per:

$$I_{ccea} = I_{cc} \cdot \sqrt{t} = 11,55 \cdot \sqrt{0,60} = 8,95kA$$

**Equació 19.4. Expressió intensitat tèrmica**

Segons les dades del fabricant, la intensitat tèrmica màxima admissible en curtcircuit pel cable escollit es:

$$I_{ccea_{max}} = 27,5kA$$

Essent un valor superior al calculat.

### (C) Comprovació per caiguda de tensió

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot ((R \cdot \cos\varphi) + (X \cdot \sin\varphi))$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot ((0,262 \cdot 0,8) + (0,121 \cdot 0,6)) = 0,59020V$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100$$

$$\Delta U\% = \frac{0,59020}{25 \cdot 10^3} \cdot 100 = 0,00236\%$$

**Equació 19.5. Expressió caiguda de tensió en III**

## 19.6. Justificació dels conductors de baixa tensió. Centre de Transformació

**Tram descrit:** Quadre de B.T a secundari transformador.

A continuació es justifica la secció mínima dels conductors d'interconnexió entre el secundari del transformador de potencia i el quadre general de BT per suportar intensitats nominal i màxima permissibles a la tensió de 420V.

### 19.6.1. Càlcul de la intensitat nominal de la instal·lació

$$I_s = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 68,73A$$

**Equació 19.6. Intensitat secundaria transformador**

### 19.6.2. Càlcul de la intensitat permanent de curtcircuit

Per als curtcircuits en el primari, es considerarà que la potencia de curtcircuit disponible és la teòrica dels transformadors AT/BT, sent per això més conservadors que en les condicions reals.

El corrent de curtcircuit del secundari d'un transformador trifàsic a la part de 420V, ve donat per l'expressió:

$$I_{cc} = \frac{100 \cdot S_{trafo}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \varepsilon_{cc}} = \frac{100 \cdot 50}{\sqrt{3} \cdot 420 \cdot 4,5} = 1,53kA$$

**Equació 19.7. Intensitat de curtcircuit costat B.T**

Essent:

- Strafo: Potència del transformador [kVA]
- V: Tensió del secundari [V]
- $\varepsilon_{cc}$ : Tensió de curtcircuit del transformador [%]
- $I_{cc}$ : Corrent de curtcircuit [kA]

El cable escollit per als ponts de baixa tensió serà:

- Cable 0,6/1 kV XZ1 (S) 1x150 Al

### 19.6.3. Comprovació del cable escollit

#### (A) Comprovació per intensitat màxima admissible

La intensitat màxima admissible per els cables escollits ens ve donada a la norma UNE 20460-5-523. Per tant, segons la taula 52-B1 de l'esmentada norma, tenint una terna de cables unipolars d'alumini de  $150\text{mm}^2$  de secció, amb aïllament de polietilè reticulat, muntats amb un sistema de referència tipus D, li correspon un corrent màxim admissible de:

$$I_{m\grave{a}x} = 201\text{A}$$

A aquest valor li s'es aplicable el factor de correcció de la taula 52 D-1 i 52 D-2 per temperatura ambient ( $50^\circ\text{C}$ ) i temperatura del terreny ( $30^\circ\text{C}$ ) de la mateixa norma:

$$k_{temp.amb.} = 0,9 \text{ (UNE 20460-5-523, Taula 52 D-1, } 50^\circ\text{C)}$$

$$k_{tem.terreny.} = 0,97 \text{ (UNE 20460-5-523, Taula 52 D-2, } 30^\circ\text{C)}$$

Per tant el corrent màxim admissible ens queda reduït a:

$$I_{m\grave{a}x} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 201 = 175,473\text{A}$$

#### Equació 19.8. Intensitat màxima conductor amb factors de correcció

Amb aquest valor escollim el nombre de conductors per fase necessari a la part de 420V:

$$n^o = \frac{I_{m\grave{a}x}fase}{I_{m\grave{a}x}cable} = \frac{68,73}{175,473} = 0,39$$

Essent 1 el número de conductors per fase i neutre a la part de 420V; i la següent configuració:

- (3x1x150) + 1x150 Al 0,6/1kV XZ1 (S) (420V)

### (B) Comprovació per intensitat de curtcircuit

Segons el fabricant, la intensitat màxima admissible en curtcircuit pel cable escollit es:

$$I_{cc_{màx}} = K \cdot \frac{S}{\sqrt{t}} = 94 \cdot \frac{150}{\sqrt{20 \cdot 10^{-3}}} = 99,70 \text{ kA}$$

#### Equació 19.9. Intensitat màxima curtcircuit per secció

Essent un valor molt inferior al calculat anteriorment.

Essent:

- K: Constant que depèn de la naturalesa del conductor i tipus aïllament
- S: Secció del conductor [mm<sup>2</sup>]
- t: Duració del curtcircuit [sg]
- I<sub>cc màx</sub>: Corrent de curtcircuit admissible [kA]

### (C) Comprovació per caiguda de tensió

Per aquest càlcul, no considerem l'efecte de la reactància del cable ja que es tracta d'una línia de molt poca longitud. La caiguda de tensió en línies trifàsiques ens ve determinada per la següent expressió:

$$e = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S \cdot n^0} = \frac{\sqrt{3} \cdot 8 \cdot 68,73 \cdot 0,8}{27,3 \cdot 150 \cdot 1} = 0,186 \text{ V}$$

#### Equació 19.10. Expressió caiguda de tensió III

Essent:

- e: Caiguda de tensió a la línia [V]
- L: Longitud de la línia [m]
- I: Corrent nominal [A]
- cosφ: Factor de potència previst
- γ: Conductivitat del conductor a 90° [m/(Ω·mm<sup>2</sup>)]
- S: Secció del conductor [mm<sup>2</sup>]
- n<sup>o</sup>: nombre de conductors per fase.



Segons ITC-BT 40:

$$\Delta U\% < 1,5\% 420V = 6,3V$$

$$0,186V < 6,3V$$

Es considera la conductivitat de l'alumini a 90°C ja que es la màxima temperatura de règim permanent per aquest tipus de cables, obtenint així la caiguda de tensió en el cas més desfavorable.

## 19.7. Justificació dels conductors de baixa tensió. Producció

**Tram descrit:** Aerogenerador a Quadre Baixa Tensió.

A priori, el cable escollit per a la interconnexió entre l'inversor de l'aerogenerador i el quadre de BT ubicat al Centre de Transformació, serà:

**Cable XZ1 (S) (3x1x95) + 1x95 Al 0,6/1kV (420V)**

A continuació es justifica la secció mínima dels conductors d'interconnexió entre el inversor de l'aerogenerador i el quadre general de BT per suportar intensitats nominal i màxima permissibles a la tensió de 420V.

### 19.7.1. Càlcul de la intensitat nominal de la instal·lació

$$I_p = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{50 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 68,73A$$

**Equació 19.11. Intensitat secundària transformador**

### 19.7.2. Càlcul de la intensitat permanent de curtcircuit

Per als curtcircuits en el primari, es considerarà que la potencia de curtcircuit disponible és la teòrica dels transformadors AT/BT, sent per això més conservadors que en les condicions reals.

El corrent de curtcircuit del secundari d'un transformador trifàsic a la part de 420V, ve donat per l'expressió:

$$I_{cc} = \frac{100 \cdot S_{trafo}}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \varepsilon_{cc}} = \frac{100 \cdot 50}{\sqrt{3} \cdot 420 \cdot 4,5} = 1,53 \text{ kA}$$

**Equació 19.12. Intensitat de curtcircuit costat B.T**

Essent:

- Strafo: Potència del transformador [kVA]
- V: Tensió del secundari [V]
- $\varepsilon_{cc}$ : Tensió de curtcircuit del transformador [%]
- $I_{cc}$ : Corrent de curtcircuit [kA]

El valor de cresta de corrent de curtcircuit del secundari d'un transformador trifàsic, ve donat per l'expressió:

$$I_{ss} = 2,55 \cdot I_{ccs} = 2,55 \cdot 1,53 = 3,90 \text{ kA}$$

**Equació 19.13. Expressió valor intensitat de cresta**

### 19.7.3. Comprovació del cable escollit

#### (D) Comprovació per intensitat màxima admissible

La intensitat màxima admissible per els cables escollits ens ve donada a la norma UNE 211435. Els cables s'instal·laran soterrats a una profunditat de 54cm. Per tant, segons la taula A.1 de l'esmentada norma, tenint una terna de cables unipolars d'alumini de 95mm<sup>2</sup> de secció, amb aïllament de polietilè reticulat, muntats amb tubular soterrada, li correspon un corrent màxim admissible de:

$$I_{màx} = 175 \text{ A}$$

A aquest valor li es aplicable el factor de correcció de la taula A.6 per temperatura ambient (50°C) i temperatura del terreny (30°C) de la mateixa norma, també un factor de 1,03 per profunditat de soterrament Taula A.8 (54cm).

$$k_{temp.amb.} = 0,89 \text{ (UNE 211435, Taula A-6, 50°C)}$$

$$k_{tem.terreny.} = 0,96 \text{ (UNE 211435, Taula A-6, 30°C)}$$

$$k_{profunditat} = 1,03 \text{ (UNE 211435, A-8, 54cm)}$$

Per tant el corrent màxim admissible ens queda reduït a:

$$I_{màx} = 0,89 \cdot 0,96 \cdot 1,03 \cdot 175 = 154\text{A}$$

**Equació 19.14. Intensitat màxima conductor amb factors de correcció**

Amb aquest valor escollim el nombre de conductors per fase necessari a la part de 420V:

$$n^{\circ} = \frac{I_{màx} fase}{I_{màx} cable} = \frac{68,73}{154} = 0,45$$

Essent 1 el número de conductors per fase i neutre a la part de 420V; i la següent configuració:

- (3x1x95) + 1x95 Al 0,6/1kV XZ1 (S) (420V)

**(E) Comprovació per intensitat de curtcircuit**

Segons el fabricant, la intensitat màxima admissible en curtcircuit pel cable escollit es:

$$I_{ccmàx} = K \cdot \frac{S}{\sqrt{t}} = 94 \cdot \frac{95}{\sqrt{20 \cdot 10^{-3}}} = 63,14\text{kA}$$

**Equació 19.15. Intensitat màxima curtcircuit per secció**

Essent un valor molt superior al calculat anteriorment.

Essent:

- K: Constant que depèn de la naturalesa del conductor i tipus aïllament
- S: Secció del conductor [ $\text{mm}^2$ ]
- t: Duració del curtcircuit [sg]
- $I_{cc \text{ màx}}$ : Corrent de curtcircuit admissible [kA]

### **(F) Comprovació per caiguda de tensió**

Per aquest càlcul, considerem l'efecte de la reactància del cable ja que es tracta d'una línia d'una longitud considerable en BT. La caiguda de tensió en línies trifàsiques ens ve determinada per la següent expressió:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot ((R \cdot \cos\varphi) + (X \cdot \sin\varphi))$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 0,1 \cdot 68,73 \cdot ((0,32 \cdot 0,8) + (0,095 \cdot 0,6)) = 3,726V$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100$$

$$\Delta U\% = \frac{3,726}{420} \cdot 100 = 0,887\%$$

**Equació 19.16. Expressió caiguda de tensió III**

Segons ITC-BT 40:

$$\Delta U\% < 1,5\% \cdot 420V = 6,3V$$

$$3,726V < 6,3V$$

Es considera la conductivitat de l'alumini a 90°C ja que es la màxima temperatura de règim permanent per aquest tipus de cables, obtenint així la caiguda de tensió en el cas més desfavorable.

#### 19.7.4. Taula característiques dels conductors

CARACTERÍSTIQUES CONDUCTOR	
<b>Tram connexió:</b>	Inversor aerogenerador a QBT
<b>Tensió assignada:</b>	0,6/1kV
<b>Designació:</b>	XZ1 (S)
<b>Secció:</b>	95mm <sup>2</sup>
<b>Nº conductors:</b>	4
<b>Material:</b>	Alumini
<b>Aïllament:</b>	Polietilè reticulat
<b>Pantalla:</b>	
<b>Coberta:</b>	Flamex

CARACTERÍSTIQUES CONDUCTOR	
<b>Tram connexió:</b>	Primari trafo a línia de distribució
<b>Tensió assignada:</b>	18/30kV
<b>Designació:</b>	RHZ1
<b>Secció:</b>	150mm <sup>2</sup>
<b>Nº conductors:</b>	3
<b>Material:</b>	Alumini
<b>Aïllament:</b>	Polietilè reticulat
<b>Pantalla:</b>	Fils de coure en hèlix de 16mm <sup>2</sup>
<b>Coberta:</b>	Vemex

CARACTERÍSTIQUES CONDUCTOR	
<b>Tram connexió:</b>	QBT a secundari trafo
<b>Tensió assignada:</b>	0,6/1kV
<b>Designació:</b>	XZ1 (S)
<b>Secció:</b>	150mm <sup>2</sup>
<b>Nº conductors:</b>	4
<b>Material:</b>	Alumini
<b>Aïllament:</b>	Polietilè reticulat
<b>Pantalla:</b>	
<b>Coberta:</b>	Flamex

CARACTERÍSTIQUES CONDUCTOR	
<b>Tram connexió:</b>	Ponts de BT
<b>Tensió assignada:</b>	0,6/1kV
<b>Designació:</b>	XZ1 (S)
<b>Secció:</b>	150mm <sup>2</sup>
<b>Nº conductors:</b>	4
<b>Material:</b>	Alumini
<b>Aïllament:</b>	Polietilè reticulat
<b>Pantalla:</b>	
<b>Coberta:</b>	Flamex

Taules 19.1. Descriptives de les característiques dels conductors

## 20. Dimensionat de l'embarrat d'alta tensió

Les cel·les fabricades per Ormazabal han estat sotmeses a assaigs per certificar els valors indicats a les plaques de característiques, per la qual cosa no és necessari realitzar càlculs teòrics ni hipòtesi de comportament de cel·les.

### (A) Comprovació per densitat de corrent

La comprovació per densitat de corrent té per objecte verificar que el conductor indicat és capaç de conduir el corrent nominal màxim sense superar la densitat màxima possible per al material conductor. Això, a més de mitjançant càlculs teòrics, es pot comprovar realitzant un assaig d'intensitat nominal, que per tal de disposar de suficient marge de seguretat, es considerarà que és la intensitat del bucle, que en aquest cas és de 630A.

Per a les cel·les del sistema CGM la certificació corresponent que cobreix el valor necessitat s'ha obtingut amb el protocol d'assaig 9901B026-AKLE-02 realitzat pels laboratoris LABEIN a Biscaia.

### **(B) Comprovació per sol·licitació electrodinàmica**

La intensitat dinàmica de curtcircuit es valora en aproximadament 2,5 vegades la intensitat eficaç de curtcircuit calculada en l'apartat 19.3 d'aquest capítol, pel qual:

$$I_{cc(DIN)} = 2,5 \cdot I_{cc} = 2,5 \cdot 11,55 = 28,88 \text{ kA}$$

#### **Equació 20.1. Intensitat dinàmica de curtcircuit**

Per a les cel·les del sistema CGM.3 la certificació corresponent que cobreix el valor necessitat s'ha obtingut amb el protocol d'assaig GPS-98/01432 realitzat pels laboratoris CESI a Itàlia.

### **(C) Comprovació per sol·licitació tèrmica**

La comprovació tèrmica té per objecte verificar que no es produirà un escalfament excessiu de l'aparellatge per l'efecte d'un curtcircuit. Aquesta comprovació es pot realitzar mitjançant càlculs teòrics, però preferentment s'ha de realitzar un assaig segons la normativa en vigor. En aquest cas, la intensitat considerada és eficaç de curtcircuit:

$$I_{cc(TER)} = I_{cc} = 11,55 \text{ kA}$$

#### **Equació 20.2. Intensitat tèrmica de curtcircuit**

Per a les cel·les del sistema CGM.3 la certificació corresponent que cobreix el valor necessitat s'ha obtingut amb el protocol d'assaig GPS-98/01432 realitzat pels laboratoris CESI a Itàlia.

## **20.1. Protecció contra sobrecàrregues i curtcircuits**

El transformador està protegit tant en MT com en BT. En MT la protecció l'efectua la cel·la de protecció del Centre de protecció i mesura, mentre que en BT la protecció s'incorpora en el quadre de BT.

### 20.1.2. Proteccions en MT

La protecció en MT del transformador es realitza utilitzant una cel·la d'interruptor automàtic, sent aquest interruptor el que efectua la protecció davant eventuais sobrecàrregues i curtcircuits.

Anteriorment es va comprovar en l'apartat 19.6.2. que aquesta cel·la esta correctament dimensionada davant possibles situacions de curtcircuit (valor màxim admissible de 20kA/1sg) També es va comprovar que la intensitat primària prevista (1,15A) es inferior a la nominal de la cel·la (400A)

Només quedarà per decidir la corba de dispar de la funció de sobreintensitat de fases (50-51) del relé de control de la cel·la ekorRPS més adequada per a la protecció de tots els elements de MT, situats aigües avall' (cel·la de mesura, cel·la de línia, ponts d'interconnexió i costat MT del trafo) La intensitat llindar a partir de la qual es realitzarà el dispar del interruptor haurà de ser evidentment superior a la intensitat secundària prevista, i en tot cas lo suficientment baixa per protegir adequadament els elements descrits, així com possibilitar una adequada selectivitat de salt amb el interruptor de protecció en capçalera de la línia de MT a la qual es connecti el Centre de Mesurament.

S'haurà de seleccionar també el tipus de corba de dispar més adequada segons les famílies de corbes definides en la norma UNE-EN 60255-3 (normal, inversa, o extremadament inversa) En tot cas, el tarat del relé de control es realitzarà amb el assessorament tècnic de FECSA ENDESA per a complir amb tot lo indicat.

### 20.1.3. Proteccions en BT

El quadre de BT previst disposa d'un interruptor general automàtic que protegirà front a sobrecàrregues i curtcircuits els cables d'interconnexió trafo-quadre BT.

Segons la norma UNE 20460, la protecció d'un conductor contra sobrecàrregues, mitjançant la utilització d'interruptors magnetotèrmics normalitzats, resulta eficaç si es compleix la condició:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

on:

- $I_b$ : Intensitat prevista d'utilització
- $I_n$ : Intensitat d'ajust del interruptor automàtic
- $I_z$ : Intensitat màxima admissible per el conductor

La intensitat prevista d'utilització correspondrà a la intensitat de baixa tensió  $I_s$  calculada anteriorment (68,73A), mentre que la intensitat màxima admissible per els ponts d'interconnexió trafo-quadre de BT també va ser calculada (175A) Per lo tant, aplicant l'expressió anterior s'obté:

$$68,73A \leq I_n \leq 175A$$

Notem que la intensitat d'ajust del interruptor automàtic haurà de trobar-se dintre d'un rang de valors determinat, perquè la protecció dels conductors en front a sobrecàrregues resulti efectiva. La intensitat nominal del interruptor es de 100A, de manera que:

$$68,73A \leq 100A \leq 175A$$

Queda comprovat que l'ajust proposat resulta adequat per a protegir els conductors de interconnexió-trafo-quadre BT en front a sobrecàrregues.

La protecció contra curtcircuits del interruptor automàtic serà eficaç si la seva intensitat assignada de curta duració i el seu poder de tall son superiors als respectius valors de  $I_{cc}$  e  $I_{ss}$ , calculats anteriorment. Els valors obtinguts van ser:

$$I_{cc} = 1,53kA \quad I_{ss} = 3,90kA$$

Els valors mes comuns en els interruptors automàtics d'aquestes característiques son d'intensitats de curta duració mínimes de 25kA, així com de poders de tall de tall mínims de 50kA, superiors als valors màxims previstos. Es verificarà per lo tant el compliment d'aquests valors mínims a l'hora de seleccionar l'interruptor automàtic a instal·lar.

## 21. Ajust relé ekorRPS

El temps màxim de dispar del relé de control admissible per a un valor de  $I_{cc} = 20kA$ , ve donat per l'expressió:

$$t_{cc} \leq \left( \frac{s \cdot K}{I_{cc}} \right)^2 = \left( \frac{150 \cdot 94}{20.000} \right)^2 = 0,50sg$$

**Equació 21.1. Expressió temps de dispar relé**

Haurà de verificar-se aquesta condició per la corba de dispar seleccionada del relé de control de la cel·la del interruptor automàtic en situacions de curtcircuit.



## 22. Dimensionat de la ventilació del centre de mesurament

Per calcular la superfície de reixa d'entrada d'aire en el edifici s'utilitza la següent expressió:

$$S_r = \frac{W_{cu} + W_{fe}}{0,24 \cdot K \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T^3}}$$

**Equació 22.1. Superfície reixa C.T**

Essent:

- $W_{cu}$ : Pèrdues en el coure del transformador [kW]
- $W_{fe}$ : Pèrdues en el ferro del transformador [kW]
- $K$ : Coeficient variable en funció de la forma de les reixes d'entrada d'aire [aprox. entre 0,35 i 0,40]
- $h$ : Distància vertical entre les reixes d'entrada i sortida [m]
- $\Delta T$ : Augment de la temperatura del aire [°C]
- $S_r$ : Superfície mínima de les reixes d'entrada d'aire [m<sup>2</sup>]

No obstant i encara que es aplicable aquesta expressió a tots els edificis prefabricats d'ORMAZABAL, es considera de major interès la realització d'assaigs d'homologació dels centres fins a les potències de transformació màximes indicades, deixant la expressió per a valors superiors als homologats.

L'edifici emprat en aquesta aplicació ha estat homologat per a potències unitàries per transformador màximes de 1000kVA, superior a la potència del transformador previst. En concret, l'edifici emprat en aquesta aplicació ha estat homologat segons el protocol desenvolupat en el laboratori LABEIN (Vizcaya-Espanya) n°97624-1-E, per a ventilació de transformador de potència fins a 1000kVA.

## 23. Dimensionat de la fossa de recollida d'oli

Es disposa d'una fossa de recollida d'oli de 760 lts de capacitat amb una xapa tallafocs coberta de grava en la seva part superior per a prevenir l'abocament del mateix fins al exterior i minimitzar el dany en cas d'incendi. La seva capacitat resulta més que suficient, tenint en compte que el volum d'oli del transformador previst es de 130lts.

## 24. Càlcul de les instal·lacions de posades a terra

Per a dissenyar la instal·lació de posada a terra s'utilitzarà el 'Mètode de càlcul i projecte d'instal·lacions de posada a terra per a centres de transformació connectats a xarxes de tercera categoria' publicat per UNESA, com procediment per al càlcul i valoració de les tensions de pas i de contacte de la instal·lació de posada a terra del Centre de Transformació.

### 24.1. Investigació de les característiques del sòl

En el apartat 2.1 de la MIE-RAT-13, el Reglament sobre Condicions Tècniques i Garanties de Seguretat en Centrals Elèctriques, Subestacions i Centres de Transformació indica que el procediment per a projectar una instal·lació de terres començarà per la investigació de les característiques del terreny. Això suposa realitzar prèviament una mesura de la resistivitat del terreny on s'ubicarà el centre.

Realitzant la mesura de resistivitat del terreny mitjançant el mètode de Wenner<sup>8</sup>, s'obté una resistivitat mitja del terreny  $\rho$  a una profunditat de 1,5m (2m entre sondes de mesura) de  $1400\Omega \cdot m$ .

### 24.2. Determinació de les corrents màximes de defecte a terra i del temps màxim de eliminació del defecte

En les instal·lacions de MT de tercera categoria, els paràmetres que determinen els càlculs de faltes a terra són els següents:

- De la xarxa.
  - Tipus de neutre: El neutre de la xarxa pot estar aïllat rígidament unit a terra, unit a aquesta mitjançant resistències o impedàncies. Això produirà una limitació de la corrent de la falta, en funció de les longituds de línies o dels valors de impedàncies en cada cas.
  - Tipus de proteccions: Quan es produeix un defecte, aquest s'eliminarà mitjançant l'apertura d'un element de tall que actua per indicació de un dispositiu relé d'intensitat, que pot actuar en un temps fix (temps fix), o segons una corba de tipus invers (temps dependent) Addicionalment, poden existir reenganxaments posteriors al primer dispar, que només influiran en els càlculs si es produeixen en un temps inferior als 0,5segons.

---

<sup>8</sup> Mètode de Wenner: L'objectiu és mesurar la resistència del sòl utilitzant un medidor de resistència de terreny de 4 elèctrodes, es requereix inserir quatre puntes de prova en línia recta i equidistants, llavors s'injecta un corrent a través del terra i a dos puntes externes. Es mesura AV a través de les puntes internes i per llei d'Ohm calcula el valor de la resistència del terreny.

En el cas de la xarxa de FECSA ENDESA que ens ocupa, en la que el neutre de la xarxa està unit a terra mitjançant impedància i les proteccions disposen de relés a temps dependent, els valors de la intensitat màxima de defecte a terra i del temps màxim d'eliminació del defecte poden calcular-se mitjançant les expressions següents:

$$I_d = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} = \frac{25 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0 + 24)^2 + 25^2}} = 416,49A$$

**Equació 24.1. Expressió intensitat màxima defecte**

Essent:

- $U_n$ : Tensió de servei [V]
- $R_n$ : Resistència de posada a terra del neutre [ $\Omega$ ]
- $R_t$ : Resistència de posada a terra de protecció [ $\Omega$ ]
- $X_n$ : Reactància de posada a terra del neutre [ $\Omega$ ]
- $I_d$ : Intensitat màxima de defecte a terra [A]

$$t = \frac{K'}{r^{n'} - 1}$$

**Equació 24.2.**

$$r = \frac{I_d}{I_a}$$

**Equació 24.3.**

Essent:

- $K'n'$ : Paràmetres característics de la corba intensitat-temps del relé
- $I_a$ : Intensitat arrencada del relé [A]
- $t$ : temps màxim d'eliminació del defecte [sg]

### 24.3. Disseny preliminar de la instal·lació de terra

El disseny preliminar de la instal·lació de posada a terra es realitza basant-se en les configuracions tipus presentades en el Annex 2 del mètode de UNESA mencionat al principi que estigui d'acord amb la forma i dimensions del Centre de Transformació, segons el mètode de càlcul plantejat.

### 24.4. Càlcul de la resistència del sistema a terra

- Característiques de la xarxa d'alimentació.
- Tensió de servei  $U_n$ .....25000V
- Posada a terra del neutre (definida per FECSA-ENDESA):
  - Resistència  $R_n$ .....0Ω
  - Reactància  $X_n$ .....25Ω
- No es considera la impedància dels cables de MT.
- Paràmetres del relé de protecció en capçalera de línia:
  - Constant  $K'$ .....24
  - Constant  $n'$ .....2 (corba extremadament inversa)
  - Intensitat d'arrencada.....60A
- Reconexió automàtica.....no (línia subterrània)
- Nivell d'aïllament de les instal·lacions de BT.
- Tensió d'aïllament assignada  $V_{bt}$ .....10.000V
- Característiques del terreny i del edifici.
- Resistivitat del terreny  $\rho$ .....140Ω·m
- Resistivitat del formigó  $\rho'$ .....3.000Ω·m

La resistència de posada a terra de protecció del edifici, i la intensitat de defecte hauran de complir les condicions següents:

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt} \quad \text{Equació 24.4.}$$

$$I_d > I_a \quad \text{Equació 24.5.}$$

Aplicant les expressions 24.1, 24.4, 24.5, els resultats preliminars obtinguts són:

$$I_d = 416,49A$$

$$R_t = 24\Omega$$

Es seleccionarà el elèctrode tipus (de entre els inclosos en les taules, i d'aplicació en aquest cas concret, segons les condicions del sistema de terres) que compleixi el requisit de tindre un valor unitari de

resistència de posada a terra immediatament inferior o igual al calculat per aquest cas i para aquest centre. El valor unitari de resistència de posada a terra del elèctrode haurà de complir llavors la condició següent:

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho}$$

Per el nostre cas particular, i segons els valors abans indicats:

$$K_r \leq \frac{24}{140} = 0,1714$$

- **Configuració seleccionada.**

- Codi de configuració.....80-30/8/42
- Geometria del sistema.....anell rectangular
- Dimensions geomètriques.....8,0x3,0m
- Profunditat del elèctrode horitzontal.....0,8m
- N° de piques.....4
- Longitud de les piques.....2m
- Paràmetres característics del elèctrode:
  - Valor unitari de resistència  $K_r$ .....0,074  $\Omega/(\Omega \cdot m)$
  - Valor unitari de tensió de pas  $K_p$ .....0,0113 V/( $\Omega \cdot m$ )
  - Valor unitari de tensió de contacte  $K_c$ .....0,0355 V/( $\Omega \cdot m$ )

## 24.5. Mesures de seguretat addicionals per a les tensions de contacte

Perquè no apareguin tensions de contacte exteriors ni interiors perilloses, s'adopten les següents mesures de seguretat:

- Les portes i reixes metàl·liques que donen al exterior del edifici no tindran contacte elèctric amb masses conductores susceptibles de quedar en tensió degut a defectes o averies.
- En el sòl del centre s'instal·larà un mallat cobert per una capa de formigó de 10cm, connectat a la posada de terra de protecció del mateix.
- En el cas d'instal·lar les piques en filera, es disposaran alineades amb el front del edifici.

## 24.6. Valors reals de resistència de terra e intensitat de defecte

El valor real de la resistència de posada a terra de protecció del centre serà:

$$R'_t = K_r \cdot \rho$$

Aplicant aquesta expressió, obtenim:

$$R'_t = 0,074 \cdot 140 = 10,36\Omega$$

La intensitat de defecte real, aplicant la expressió 24.1, serà:

$$I'_d = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{10,36^2 + 25^2}} = 533,37A$$

## 24.7. Càlcul de les tensions de pas i contacte en el interior

Adoptant les mesures de seguretat addicionals, no es precís calcular les tensions de pas i contacte en el interior en els edificis de maniobra interior, ja que aquestes són pràcticament nul·les.

Haurà que calcular no obstant la tensió de defecte real que existirà en el interior del centre davant l'aparició de una falta, mitjançant la següent expressió:

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d$$

on:

$R'_t$ :	Resistència real de posada a terra de protecció [ $\Omega$ ]
$I'_d$ :	Intensitat real de defecte [A]
$V'_d$ :	Tensió real de defecte [V]

Aplicant aquesta expressió, obtenim el següent valor:

$$V'_d = 10,36 \cdot 533,37 = 5525,68V$$

La tensió de pas en el accés serà igual al valor de la tensió màxima de contacte sempre que es disposi d'una malla equipotencial connectada al elèctrode de terra, segons la expressió:

$$V'_{p(acc)} = V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d$$

on:

$V'_{p(acc)}$ : tensió de pas en el accés al centre [V]

El resultat obtingut per al accés al nostre centre es:

$$V'_{p(acc)} = 0,0355 \cdot 140 \cdot 533,37 = 2650,85V$$

#### **24.8. Càlcul de les tensions de pas i contacte en el exterior**

- Adoptant les mesures de seguretat addicionals, no es precís calcular les tensions de contacte en el exterior de la instal·lació, ja que aquestes seran pràcticament nul·les.
- La tensió de pas en el exterior s'obté mitjançant la expressió següent:

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d$$

on:

$V'_p$ : Tensió de pas en el exterior del centre [V]

El resultat obtingut en el nostre cas es:

$$V'_p = 0,0113 \cdot 140 \cdot 533,37 = 843,79V$$

#### **24.9. Càlcul de les tensions de pas màximes admissibles**

En primer lloc, haurà de calcular-se el temps màxim d'eliminació del defecte mitjançant les expressions 24.2 i 24.3:

$$r = \frac{533,37}{60} = 8,88$$

$$t = \frac{24}{8,88^2 - 1} = 0,31\text{sg}$$

La tensió de pas màxima admissible es calcula mitjançant l'expressió:

$$V_p = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1000}\right)$$

**Equació 24.6.**

on:

$K, n$ : coeficients dependents del valor de  $t$

$V_p$ : tensió de pas màxima admissible [V]

Per a valors de  $t$  superiors a 0,1sg e inferiors o iguals a 0,9sg, com el cas que ens ocupa, els valors de  $K$  i  $n$  a adoptar són:

$$K = 72$$

$$n = 1$$

Aplicant la expressió 24.6, obtenim:

$$V_p = \frac{10 \cdot 72}{0,31^1} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 140}{1000}\right) = 4246,15\text{V}$$

La tensió de pas en el accés al centre s'obté de la expressió següent:

$$V_{p(acc)} = \frac{10 \cdot K}{t^n} \cdot \left(1 + \frac{(3 \cdot \rho) + (3 \cdot \rho')}{1000}\right)$$

El resultat obtingut en el nostre cas es:

$$V_{p(acc)} = \frac{10 \cdot 72}{0,31^1} \cdot \left(1 + \frac{(3 \cdot 140) + (3 \cdot 3000)}{1000}\right) = 24201,29\text{V}$$



## 24.10. Comprovació dels resultats obtinguts

Comprovem ara que els valors calculats per el cas d'aquest centre són inferiors als valors màxims admissibles:

- **Tensió de pas en el exterior del centre**

$$V'_p = 843,79V < V_p = 4246,15V$$

- **Tensió de pas en el accés al centre**

$$V'_{p(acc)} = 2650,85V < V_{p(acc)} = 24201,29V$$

- **Tensió de defecte**

$$V'_d = 5525,68V < V_{bt} = 10000V$$

Es comprova que tots els valors reals obtinguts són inferiors als màxims admissibles, considerant per lo tant que la instal·lació de posada a terra de protecció del centre està correctament dimensionada.

## 24.11. Investigació de les tensions transferibles al exterior

Per a garantir que el sistema de terres de protecció no transfereixi tensions al sistema de terres de servei, evitant així que afectin als usuaris connectats a les instal·lacions de BT, haurà d'establir-se una separació entre elèctrodes més propers dels dos sistemes, sempre que la tensió de defecte real obtinguda superi el valor de 1000V (en cas contrari, haurien d'unir-se ambdós sistemes de terres)

En aquest cas es imprescindible mantenir una separació, en ser la tensió de defecte prevista de 5525,68V.

La distància mínima de separació entre els sistemes de terres ve donada per l'expressió:

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2000 \cdot \pi}$$

on:

**D:** distància mínima de separació entre elèctrodes [m]

Per al nostre cas concret:

$$D = \frac{140 \cdot 533,37}{2000 \cdot \pi} = 11,88\text{m}$$

Es connectarà a aquest sistema de terres de servei el neutre dels transformadors, així com la terra dels secundaris dels transformadors de tensió e intensitat de la cel·la de mesura.

- **Configuració seleccionada per al sistema de posada a terra de servei**

- Codi de configuració.....5/22
- Geometria del sistema.....piques alineades
- N° de piques.....2
- Longitud de les piques.....2m
- Distància entre piques.....3m
- Profunditat del elèctrode horitzontal.....0,5m
- Paràmetres característics del elèctrode:
  - Valor unitari de resistència  $K_r$ .....0,201  $\Omega/(\Omega \cdot \text{m})$
  - Valor unitari de tensió de pas  $K_p$ .....0,0392  $\text{V}/(\Omega \cdot \text{m})$

El criteri de selecció de la terra de servei es no ocasionar en el neutre una tensió superior a 24V quan existeix un defecte a terra en una instal·lació de BT protegida contra contactes indirectes per un diferencial de 650mA. Per això la resistència de posada a terra de servei haurà de ser inferior a 37 $\Omega$ :

$$R'_{t(\text{serv})} = K_r \cdot \rho = 0,201 \cdot 140 = 28,14\Omega < 37$$

No obstant, es podrà executar qualsevol configuració amb característiques de protecció i servei millors que les calculades, és a dir, atenent a les taules adjuntes al Mètode de Càlcul de Terres de UNESA, amb valors de  $K_r$  inferiors als calculats, sense necessitat de repetir els càlculs, independentment de que es canviï la profunditat d'enterrament, geometria de la xarxa de terra, dimensions, nombre de piques o longitud d'aquestes, ja que els valors de tensió seran inferiors als calculats en aquest cas.

- **Configuració seleccionada per al sistema de posada a terra del aerogenerador**

- Codi de configuració.....5/22
- Geometria del sistema.....piques anell circular
- N° de piques.....2
- Longitud de les piques.....2m
- Distància entre piques.....11m
- Profunditat del elèctrode horitzontal.....0,5m
- Paràmetres característics del elèctrode:
  - Valor unitari de resistència  $K_r$ .....0,201  $\Omega/(\Omega \cdot \text{m})$
  - Valor unitari de tensió de pas  $K_p$ .....0,0392  $\text{V}/(\Omega \cdot \text{m})$

$$R'_{t(\text{serv})} = K_r \cdot \rho = 0,201 \cdot 140 = 28,14\Omega < 37$$

**DOCUMENT N°7:  
PLEC DE CONDICIONS**

## **25. Plec de condicions**

### **25.1. Condicions generals**

#### **25.1.1. Naturalesa i objecte del plec de condicions**

El present Plec de Condicions té com a finalitat regular l'execució de l'obra objecte del projecte, fixant els nivells tècnics i de qualitat exigibles. Se sobreentén que es tindran en compte les normes i dispositius vigents i complementaris sobre seguretat.

Les condicions establertes, en el present plec, s'exigeixen per proporcionar les garanties suficients del bon funcionament de tots els elements integrants en les instal·lacions, assignant a si mateix, les normes de seguretat i duració, tant dels components del projecte, com les xarxes d'alimentació d'energia elèctrica, corresponents als mateixos, admetent pels anomenats elements, l'ús considerat normal en aquest tipus d'instal·lació.

També s'indiquen en el present plec, els assajos, que en la recepció dels aparells i dispositius auxiliars dels mateixos, podran ser efectuats per la direcció facultativa de l'obra, així com la forma i l'entitat que deu efectuar.

Tots els elements, aparells, components, aparellatge, etc... han de ser acompanyats en cas de que la direcció facultativa així ho exigeixi, dels corresponents certificats, redactats pel fabricant, subministrador o contractista dels mateixos, i en els quals s'indicarà la marca del fabricant, les característiques tècniques, així com les dimensions geomètriques, proves efectuades i es consideraran com representatius dels mateixos.

Es presentaran a si mateix els certificats facilitats per laboratoris oficials si disposaran d'ells i els de Normalització que siguin exigibles oficialment.

##### *25.1.1.1. Millora i modificacions pel projecte*

Només seran considerades com a millores i modificacions del projecte objecte d'aquest estudi aquelles que hagin estat ordenades expressament per escrit de la Direcció Facultativa d'obres.

##### *25.1.1.2. Responsabilitat del contractista*

L'instal·lador serà l'únic responsable de l'execució de les instal·lacions objecte del projecte, no tenint dret a cap tipus d'indemnització per major preu que pugues costar-li, per augment de jornals o materials, i per error que pugues cometre, sent tot pel seu compte i risc independent de la propietat.

Així mateix, l'instal·lador, serà responsable davant dels tribunals dels accidents que puguin succeir. L'instal·lador serà l'únic responsable en la execució de les instal·lacions en tot moment.

Un cop realitzat el acte de Recepció Provisional, la responsabilitat del manteniment de la instal·lació es tramet a la Propietat de les cases, sense perjudici de les responsabilitats contractuals que en concepte de garantia hagin sigut pactades prèviament i obliguen a l'Empresa Instal·ladora.

#### *25.1.1.3. Observació de la legislació social i del treball*

L'instal·lador estarà obligat al compliment de tots els preceptes legals establerts o que s'estableixin durant l'execució de les instal·lacions.

L'instal·lador tindrà que tenir en l'obra el nombre d'operaris convenients per al correcte desenvolupament del treball i amb la amplitud necessària per a la acurada execució de l'obra.

La Direcció Facultativa tindrà dret a exigir del instal·lador que sigui acomiadat qualsevol de les persones que intervinguin en ella, per incapacitat, immoralitat, embriaguesa o altres causes que influeixin en la bona execució i ordre dels treballs.

#### *25.1.1.4. Direcció dels treball*

El Director encarregat de la inspecció de les obres constitueix la Direcció Tècnica i, com a tal, executarà tots els treballs de desenvolupament del projecte i detalls necessaris per a la seva realització, assumint, per tant, tota la responsabilitat respecte als plànols i instruccions tècniques.

#### *25.1.1.5. Interpretació del projecte*

La interpretació del projecte correspon exclusivament al Enginyer Director de l'obra, el qual solucionarà tots els dubtes que puguin sorgir sobre aquest en particular.

L'instal·lador no podrà realitzar per si mateix ninguna alteració de les parts del projecte sense autorització per escrit de la Direcció d'Obres.

L'adjudicatari està obligat a desfer i tornar a executar pel seu compte tota aquella part de l'obra que, a judici de la Direcció Facultativa, no s'ajusti al projecte o a les ordres donades en qualsevol moment que fos advertida de falta, no tenint l'instal·lador dret per aquesta causa a sol·licitar ninguna indemnització.

#### *25.1.1.6. Copia del projecte en l'obra*

L'adjudicatari tindrà en l'obra una copia autoritzada del projecte que durà pel seu compte, servint-li aquest de norma per als treballs, així com per aclarir els dubtes que puguin sorgir.

#### *25.1.1.7. Iniciació i seguiment de les obres*

Després de firmat per les dues parts del contracte, el contractista haurà de començar les obres dins del termini assenyalat.

Sent el temps un dels elements del contracte, el contractista prosseguirà l'obra amb la major diligència emprant aquells medis i mètodes de realització que assegurin la seva terminació no més tard de la data establerta a l'efecte, o a la data que s'hagi ampliat el temps estipulat per la seva terminació.

#### *25.1.1.8. Variacions*

S'entendrà compreses en l'objecte del contracte les modificacions parcials o els complements d'obres o subministres que la direcció facultativa determini o que a judici de la mateixa resultin necessàries per causes no previstes, dins dels límits autoritzats, mitjançant les rectificacions adequades o reformes del projecte.

### **25.1.2. Neteja final de les obres**

Una vegada que les obres s'hagin finalitzat, totes les instal·lacions, depòsits i edificis construïts amb caràcter temporal per al servei de l'obra, hauran de ser desmuntades i els llocs del seu emplaçament restaurats de forma original.

Tot s'executarà de forma que les zones afectades quedin completament netes i en condicions estètiques d'acord amb el paisatge.

#### *25.1.2.1. Senyalització de les obres*

Totes les obres hauran d'estar perfectament delimitades, tant frontal com longitudinalment, mitjançant tanques, o altres elements anàlegs de característiques aprovades pels serveis tècnics municipals, de forma que tanquin totalment la zona de treball.

S'haurà de protegir del mode indicat qualsevol obstacle en voreres o calçades, per lliure i segura circulació de vehicles i vianants, com munts de runes, materials per la reconstrucció del paviment, rases obertes, maquinaria i altres elements.

Quan sigui necessari es col·locarà els discs indicadors reglamentaris, a més de l'establert en les ordenances vigents.

## **25.2. Condicions dels materials**

### *25.2.1.1. Control previ dels materials*

Tots els materials emprats, els no relacionats amb aquest plec inclòs, hauran de ser de primera qualitat, completament nous sense cap prova d'utilització.

Una vegada adjudicada l'obra definitivament i abans de la instal·lació, el contractista presentarà la direcció facultativa, els catàlegs, cartes mostra, etc..., que es relacionin amb la recepció dels diferents materials.

En aquest control previ no constitueix la seva recepció definitiva, ja que poden ser rebutjats per la direcció facultativa després de instal·lar-los, per no complir amb les condicions exigides en aquest plec, havent de ser canviats pel contractista.

### *25.2.1.2. Condicions generals dels materials d'obra civil*

Tots els materials utilitzats en l'obra civil d'aquest projecte hauran de complir les especificacions que s'indiquen particularment per cadascun d'ells en els articles d'aquest plec.

Independentment d'aquestes especificacions, el director d'obra és el facultatiu per ordenar els anàlisis i proves que cregui convenient i estimi necessaris per la millor definició de les característiques dels materials utilitzats.

## **25.3. Condicions específiques dels materials d'obra civil**

### *25.3.1.1. Encofrats*

Element de fusta, metàl·lic o material anàleg destinat a servir de motlle per l'execució d'obres de formigó, ciment o similar.

- Materials.

Els encofrats seran de fusta, metàl·lics i de qualsevol altre material aprovat per l' Inspecció Facultativa.

- Característiques generals

Els encofrats, de qualsevol material que estiguin fets, han de reunir una sèrie de condicions d'eficàcia. Tant les unions com peces que constitueixen els encofrats hauran de mostrar la resistència i la rigidesa necessària per a que, durant l'enduriment del formigó, no es produeixin esforços anormals ni desplaçaments.

Tant les superfícies interiors dels encofrats com els productes aplicats a ells, no contendran substàncies nocives per al formigó.

- Execució

Els encofrats de fusta s'humitegen per evitar l'absorció de l'aigua d'argamassa del formigó. L'inspecció Facultativa podrà autoritzar la utilització de tipus i tècniques especials, resultats dels quals han estat sancionats per la pràctica.

- Recepció

No s'autoritzaran aquells encofrats que presentin restes de pastades antigues en les seves cares interiors i es rebutjaran aquelles peces de formigó que no presentin l'aspecte requerit.

## **25.4. Detalls omesos**

Tots els materials que per la seva minuciositat, es poden haver omès en aquest Plec de Condicions i que corresponguin a una instal·lació acurada, ja sigui a conseqüència de lo dibuixat en els plànols o contingut en aquest Plec, ja sigui necessari per el acoblament i perfecte acabat de les instal·lacions, queda a la determinació exclusiva de la Direcció d'Obres quan sigui precís, i el contractista es veurà obligat a la seva execució i compliment sense dret a ninguna reclamació.

## **25.5 Recepció de les instal·lacions**

La recepció de les instal·lacions tindran com objecte el comprovar que les mateixes compleixen les prescripcions del Reglament vigent i les especificacions senyalades en aquest Plec de Condicions particular de l'obra, així com realitzar una posada en marxa correcta, i comprovar mitjançant els assajos que siguin requerits, les presentacions de confortabilitat, exigències d'ús racional de l'energia, contaminació ambiental, seguretat i qualitat que sigui exigida.



Totes i cadascuna de les proves es realitzaran en presència del Director d'Obra de la instal·lació, el qual donarà fe dels resultats per escrit.

#### *25.5.1.1. Proves parcials*

Al llarg de l'execució s'hauran d'haver fet proves parcials, controls de recepció, etc..., de tots els elements que hagi indicat el Director d'Obra. Particularment totes les unions o trams de tubera, conductors o elements que per necessitats de l'obra vagin a quedar-se ocultes, hauran de ser exposats per a la inspecció o expressament aprovades abans de cobrir-los o col·locar les proteccions requerides.

#### *25.5.1.2. Proves finals*

Un cop acabada la instal·lació, aquesta serà sotmesa per parts o en el seu conjunt, a les proves que s'indiquin, sense perjudici d'aquelles altres que sol·liciti el Director de l'Obra.

#### *25.5.1.3. Recepció provisional*

Un cop realitzades les proves finals, amb resultats satisfactoris per el Director d'Obra, es procedirà al acte de Recepció Provisional de la instal·lació. Amb aquest acte es donarà per finalitzat el muntatge de la instal·lació.

#### *25.5.1.4. Recepció definitiva*

Transcorregut el termini contractual de garantia, en absència d'averia o defecte de funcionament durant el mateix o havent estat aquests degudament esmenats, la recepció provisional adquirirà el caràcter de recepció definitiva, sense realització provisional de noves proves, malgrat que per part de la propietat hagi estat cursat avís en contra de finalitzar el període de garantia establert.

És condició prèvia per a la realització de les proves finals que la instal·lació es trobi totalment acabada d'acord amb les especificacions del projecte, això com que hagi estat prèviament equilibrada i posada a punt i s'hagin complert les exigències prèvies que hagi establert el Director de l'Obra, tals com neteja, subministrament d'energia, etc... Com a mínim, hauran de realitzar-se les proves específiques que s'indiquin referents a les exigències de seguretat i ús racional de l'energia. A continuació es realitzaran les proves globals del conjunt de la instal·lació.

## **25.6. Instal·lació elèctrica**

### *25.6.1.1. Condicions abans de començar la instal·lació*

Abans de començar a tendir la xarxa de distribució, s'han d'haver executat tots els elements estructurals que hagin de suportar-la, o en els que vagin a ser encastades. Quan, al estar previstes, s'hagin deixat preparades les canalitzacions necessàries al executar l'obra prèvia, s'haurà de replantejar en forma visible la situació de les caixes de mecanismes, de registre i protecció, el recorregut de les línies, tot senyalant convenientment la naturalesa de cada element.

### *25.6.1.2. Centres de transformació*

### *25.6.1.3. Alimentació soterrada*

Els cables d'alimentació soterrada entraran en el centre, arribant a la cel·la que correspongui, per una canal o tub. Les seccions d'aquests canals i tub permetran la col·locació dels cables amb la major facilitat possible. Els tubs seran de superfície interna llisa, sent el seu diàmetre 1,6 vegades el diàmetre del cable com a mínim, i preferentment de 15 cm. La disposició dels canals i tubs seran com a mínim igual a 10 vegades el seu diàmetre. Amb un mínim de 0,6 m.

Després de col·locats els cables s'obstruirà l'orifici de pas per un tap al que, per evitar l'entrada de rosegadors, s'incorporaran materials durs que no danyin el cable.

A l'exterior del centre els cables estaran directament soterrats, excepte si travessen altres locals, en aquest cas es col·locaran en tubs o canals. Es prendran les mesures necessàries per assegurar en tot moment la protecció mecànica dels cables i la seva fàcil identificació. Per altre part es tindrà en compte, per evitar els riscos de corrosió de l'embolcall dels cables, la possible presència de substàncies que puguin ser perjudicials.

### *25.6.1.4. Enllumenat*

Els focus lluminosos estaran col·locats sobre suports rígids i disposats de manera que els aparells de seccionament no quedin en una zona d'ombra; permetran a més la lectura correcta dels aparells de mesura. Es situaran de tal manera que la substitució de làmpades pugui efectuar-se sense necessitat d'interrompre la corrent i sense perill de l'usuari.

Els interruptors de l'enllumenat es situaran en la proximitat de les portes d'accés.

#### *25.6.1.5. Embarrats de MT*

Els embarrats i connexions de mitjà tensió estaran constituïts en general per conductors nus o coberts. Les connexions, derivacions i empalmes es faran amb elements apropiats, per a conductors de coure de secció circular.

#### *25.6.1.6. Connexionat BT*

Les connexions de baixa tensió s'ajustaran al disposat en el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió.

Cap circuit de BT es situarà sobre la vertical dels circuits de MT ni a menys de 45 cm en altre cas, excepte si s'instal·len tubs o pantalles metàl·liques de protecció.

#### *25.6.1.7. Posadas a terra*

Les posades a terra es realitzaran en la forma indicada en el projecte, han de complir-se estrictament el referent a separació de circuits, forma de constitució i valors desitjats per a les posades a terra.

#### *25.6.1.8. Quadres prefabricats*

Quan es tracti de quadres per a la protecció de línies de distribució que no exigeixen altre aparellatge que interruptors automàtics, s'utilitzaran prefabricats. La porta tancarà a pressió, a menys que el local en el que estigui situat sigui de pública concurrència, que aleshores haurà de ser amb pany.

Els automàtics es numeraran amb rètols de plàstic i sobre la tapa del quadre per la seva cara interior. Es disposarà d'una llegenda escrita a màquina que determini el servei corresponent a cada interruptor. Aquesta llegenda es protegirà mitjançant una funda de plàstic transparent i s'enganxarà a la tapa. En cas de que la claredat dels circuits ho permeti, es podrà marcar directament els interruptors mitjançant rètols de plàstic.

Quan alguna de les sortides dels quadres s'expressin en els plànols que hagin de ser tripolars o tetrapolars, l'interruptor serà d'aquest tipus, no s'admetrà la instal·lació de tres unipolars units exteriorment mitjançant una falca.

#### 25.6.1.9. Aparellatge de baixa tensió

#### 25.6.1.10 Interruptors automàtics

Els destinats a quadres generals de distribució seran interruptors en caixa modelada, magneto tèrmic. En la resta de quadres, podran ser indistintament en caixa modelada o amb ruptura al aire.

Hauran de tallar el corrent màxim del circuit en els quals estiguin col·locats sense donar lloc a la formació de arcs permanents, obrint o tancant els circuits, sense possibilitat de prendre una posició intermèdia entre les corresponents a les d'obertura i tancament. Quan s'utilitzi per a la protecció contra curt circuits, la seva capacitat de tall estarà d'acord amb la intensitat de curt circuit que pot presentar-se en el punt de la instal·lació, a menys que vagin associats amb fusibles adequats que compleixin aquests requisits.

Els interruptors automàtics han de portar marcats la seva intensitat i tensió nominals, el símbol de la naturalesa de corrent que s'hagi d'emprar i el símbol que indiqui les característiques de desconexió, d'acord amb la norma que les correspongui o, en el seu defecte, aniran acompanyades de les corbes de desconexió.

La capacitat de ruptura serà en cada cas la indicada, d'acord amb la intensitat de curt circuit previsible.

Els mecanismes d'accionament obligaran la connexió i desconexió brusca. En l'inici del circuit elèctric s'instal·larà un interruptor automàtic general de tall omnipolar per sota del límit de la intensitat de corrent admissible del conductor, i que protegeixi contra curt circuits el qual la seva capacitat de tall estarà d'acord amb la intensitat de curt circuit que pugui presentar-se en el punt de la seva instal·lació. S'admetrà que aquest dispositiu general assegura la protecció contra curt circuits per a tots els circuits derivats.

Els dispositius destinats a la protecció dels circuits, s'instal·laran en l'origen d'aquestes, així com en els punts en que la intensitat disminueixi per canvis deguts a secció, condicions d'instal·lació, sistemes de execució o tipus de conductors utilitzats.

Per tal de conèixer la intensitat nominal dels interruptors automàtics o dels fusibles es consultarà la instrucció ITC-BT-07 per a conductors de 0.6/1 kV d'aïllament nominal directament sobre paret o sobre safata, i la instrucció MI BT 007 per a conductors de 1 kV d'aïllament de PVC en muntatge enterrats, del Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió.

Els interruptors automàtics seran, a menys que s'indiqui en la memòria, de les següents corbes de dispar:

Tots els circuits de baixa tensió de la instal·lació aniran protegits amb protecció diferencial, mitjançant interruptors automàtics d'aquest tipus.

La intensitat de defecte es podrà considerar en principi de 300 mA, si be haurà de complir-se conforme fixa el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió vigent, que la resistència a terra de les masses en locals humits sigui:

$$R = \frac{24 V}{I_s} (\Omega)$$

**Equació 12.1. Càlcul de la resistència de terra, en llocs humits**

$I_s$  = Intensitat de defecte de funcionament del diferencial

De no complir-se amb aquesta resistència, es procedirà un cop efectuada la mesura d'aquesta al canvi dels diferencials per els de la intensitat de defecte de 30 mA.

#### *25.6.1.11. Interruptors manuals*

Seràn d'obertura en càrrega, i podran tancar contra curt circuit. El mecanisme de connexió i desconnexió serà brusc. Els cartutxos seran platejats, i aniran en càmeres amb doble ruptura de pol.

Els calibres a utilitzar seran els indicats en l'esquema elèctric.

Les plaques embel·lidores dels accionaments portaran impresos els símbols indicatius de connectat o desconnectat. El embragatge entre el comandament i l'eix de rotació dels contactes no permetrà error en la maniobra.

#### *25.6.1.12 Contactors, inversors, guarda motors i arrencadors*

El sistema de tall serà per doble contacte en càmera d'extinció. La tensió de connexió de la bobina serà generalment de 230 V, a menys que hi hagin indicacions en contra. Cada bobina tindrà una protecció independent mitjançant uns talls circuits fusibles independents o mitjançant interruptor automàtic.

Els relés tèrmics es regularan en motors amb encesa directa amb els debanats en estrella, a la intensitat de línia. Es regularan en motors amb encesa estrella-triangle, a la intensitat de línia dividida per  $\sqrt{3}$ .

En els arrencadors estrella-triangle, es dotaran amb relés tèrmics tant el contactor de triangle com el contactor de línia.

No quedaran correctament instal·lats contactors que en funcionament provoquin sorolls sensibles al exterior per vibracions.

#### *25.6.1.13. Bases talls circuits*

Els cartutxos s'utilitzaran en general de classe gT<sup>9</sup>, excepte en protecció de motors, que seran de classe Am<sup>10</sup>. En les bases tripolars s'exigiran l'ús de pantalles aïllants entre les fases.

---

<sup>9</sup>La classe de fusibles gT es caracteritza per tindre una fusió lenta. Protecció contra sobrecàrregues sostingudes i curt circuits (Norma DIN).

<sup>10</sup>La seva classe es l'ha de acompanyament, amb ús només per a protecció contra curt circuits, associat a aparells de protecció contra sobrecàrregues, tals com interruptors tèrmics o magneto tèrmics.

#### *25.6.1.14. Seccionadors fusibles*

Tan sols s'admetran muntats en cofrer, però en ningun cas sobre porter de panels en quadres.

Aniran previstos de base talla circuits amb cartutxos dels especificats en el cas anterior.

Entre el cartutxos s'exigirà l'ús de pantalles aïllants.

### **25.7 Conduccions elèctriques**

#### *25.7.1.1. Accessibilitat*

Les canalitzacions s'han de posar de forma que facilitin l'accessibilitat per reparacions o transformacions. No es ficaran empalmaments o derivacions de cables dintre de murs, envans i sostres, i han d'estar protegides contra la humitat, els agents químics i els deterioraments mecànics.

Les cobertes, tapes o envoltants, comandaments i polsadors han de ser d'un material aïllant sempre que estiguin instal·lats en locals humits o molls.

#### *25.7.1.2. Classificació dels tubs*

Segons la normativa, els tubs es classifiquen de la següent manera:

- UNE-EN 50.056-2-1: Sistemes de tubs rígids.
- UNE-EN 50.086-2-3: Sistemes de tubs flexibles.
- UNE-EN 50.086-2-4: Sistemes de tubs enterrats.

Les característiques de la unió entre el tub i els seus accessoris no han de ser inferiors als declarats als sistemes de tubs.

No hi ha d'haver cap aresta, aspror o fissura als interiors dels tubs, els quals podrien danyar els conductors o els cables aïllats, o fins i tot podrien causar ferides als instal·ladors o als usuaris.

Les dimensions del tubs no enterrats, i amb unió roscada que s'utilitzin en les instal·lacions elèctriques han de ser les que es descriuen en la UNE-EN 50.086-2-4. La dimensió de la resta de tubs han de complir les normes descrites anteriorment. Cal tenir en compte que la denominació es realitzarà segons el diàmetre exterior. D'altra banda, el diàmetre interior mínim ha de ser declarat pel fabricant.

Pel que fa a la resistència al foc de cada tipus de tubs, han de seguir el que s'estableix a la Direcció de Productes de la Construcció (89/106/CEE).

### *25.7.1.3. Tubs rígids per a instal·lacions sobre mar*

Seràn de PVC i aniran proveïts de rosca PG DIN 40430. La superfície interior serà llisa i lliure de rugositats.

Els tubs de PVC aniran acabats en color gris. La unió de tubs entre si es realitzarà mitjançant maneguets del mateix material i acabat, havent de quedar els tubs totalment roscats fins al final, sense que es vegi ningun fil de rosca.

En els encreuaments de tubs rígids amb juntes de dilatació d'un edifici, hauran d'interrompre's els tubs, quedant els extrems d'aquest separats entre sí 5 cm i adjuntant-se posteriorment maneguets lliscants, que tinguin una longitud mínima de 20cm.

La unió de tubs a caixes, quadres o altres equips, es realitzarà amb rosca, contra rosca i broqueta de plàstic protectora.

La unió de tubs rígids a tubs flexibles es realitzarà mitjançant ràcords especials per aquesta finalitat.

Quan sigui precís realitzar colzes en els tubs al llarg d'un recorregut, es tindrà present que com a màxim la suma dels angles entre dos caixes o equips consecutius serà de 270°.

Les corbes practicades en els tubs seràn continues i no originaran reduccions de secció inadmissibles.

Els radis de curvatura mínim seràn:

- Per a tub PG 13 → 120 mm
- Per a tub PG 16 → 135 mm
- Per a tub PG 21 → 170 mm
- Per a tub PG 29 → 200 mm
- Per a tub PG 36 → 250 mm
- Per a tub PG 42 → 275 mm
- Per a tub PG 48 → 300 mm

Els tubs que no vagin encastats o enterrats, es subjectaran a parets o sostres, alineats mitjançant abraçadores a una distància màxima entre dos consecutives de 0,4 m. Així mateix, es despondran fixacions d'una i altra part dels canvis de direccions i en la proximitat immediata d'equips o caixes.

En ningun cas existiran menys de dos suports entre dos caixes o equips.

L'alineació de tubs vistos serà sensiblement paral·lela a les arestes de l'habitació o recinte. No s'establiran entre forjat i revestiments tubs destinats a la instal·lació elèctrica de les plantes inferiors.

Per la instal·lació corresponent a la pròpia planta, únicament podran instal·lar-se amb aquestes condicions quan quedin recoberts per una caixa de formigó o morter d'1 cm de espessor, com a mínim, a més del revestiment.

Els espessors de la paret dels tubs a utilitzar seran:

- Per a tub PG 13 → 2,25 mm
- Per a tub PG 16 → 2,50 mm
- Per a tub PG 21 → 3,05 mm
- Per a tub PG 29 → 3,25 mm
- Per a tub PG 36 → 3,40 mm
- Per a tub PG 42 → 3,60 mm
- Per a tub PG 48 → 3,90 mm

Un tub o coberta protectora tan sols contindrà, en general, conductors d'un mateix i únic circuit. Excepcionalment, podrà contenir conductors de circuits diferents quan compleixin les següents condicions:

- Tots els conductors estaran igualment aïllats per la mateixa tensió de servei.
- Tots els circuits partiran d'un mateix aparell de comandament i de protecció sense interposició d'aparells que transformin el corrent.
- Cada circuit estarà protegit per separat contra les sobre intensitats.

Serà possible la fàcil introducció i retirada dels conductors en els tubs després de ser col·locats i fixats amb els seus accessoris, disposant per dur-ho a terme els registres que es considerin convenientes i que en trams rectes no estaran separats entre sí més de 15 m. El número de corbes en angle recte situades entre dos registres consecutius no serà superior a 3.

No hi haurà en ningun cas, conductors o terminals despallats amb tensió.

Quan sigui necessari emprar connexions flexibles, aquestes s'efectuaran mitjançant tubs metàl·lics corrugat, de material resistent a la corrosió i amb una protecció IP xx7. Estaran protegits exteriorment amb una malla d'acer inoxidable, galvanitzat o plastificada.



#### *25.7.1.4. Tubs de PVC semi rígids per a instal·lacions encastades*

Seràn del tipus denominat arrissat o corrugat.

Les canalitzacions constituïdes per aquests tubs seràn d'una sola tirada.

Si la distància a tenir fos excessiva, es procedirà a intercalar un registre entremig. En ningun cas s'utilitzaran dos peces de tub posades una a continuació de l'altra.

La unió de tubs en caixes, quadres o altres equips, es farà mitjançant un trepant practicant en ells uns forats proporcionals als diàmetres dels tubs, i introduint-los en el seu interior al menys 5 mm.

Quan sigui precís realitzar colzes en els tubs al llarg d'un recorregut, es tindrà present que com a màxim la suma dels angles entre dos caixes o equips consecutius serà de 270°.

Els radis de curvatura mínima seràn:

- Per a tubs de 13 mm Ø → 65 mm
- Per a tubs de 16 mm Ø → 86 mm
- Per a tubs de 23 mm Ø → 115 mm
- Per a tubs de 29 mm Ø → 140 mm
- Per a tubs de 36 mm Ø → 174 mm
- Per a tubs de 48 mm Ø → 220 mm

Les corbes practicades en els tubs seràn contínues i no originaran reduccions de secció inadmissibles.

Tan sols s'instal·laran aquests tubs damunt del falç sostre, i la profunditat d'aquest serà almenys l'equivalent al diàmetre exterior del tub, més un centímetre que serà el recobriment.

En qualsevol cas, tant en els trams rectes com en els colzes del recorregut, es cuidarà especialment que els tubs no quedin aixafats, produint estrangulament en la seva secció útil.

Un tub o coberta protectora tan sols contindrà, en general, conductors d'un mateix i únic circuit.

Excepcionalment, podrà contenir conductors de circuits diferents que compleixin les següents condicions:

- Tots els conductors estaran igualment aïllats per la màxima tensió de servei.
- Tots els circuits partiran d'un mateix aparell de comandament i de protecció sense interposició d'aparells que transformin el corrent.
- Cada circuit estarà protegit per separat contra les sobre intensitats.

Serà possible la fàcil introducció i retirada dels conductors en els tubs després de ser col·locats i fixats en els seus accessoris, disposant per aquests dels registres que es considerin convenients i que en trams

rectes no estiguin separats entre sí més de 15 metres. El nombre de corbes en angle recte situades entre dos registres consecutius no serà superior a 3.

No hi haurà en cap cas, conductors o terminals despallats amb tensió.

#### *25.7.1.5. Conductors aïllats enterrats*

Excepte els tubs que portin els conductors aïllats tinguin coberta o estiguin assignats a 0,6/1 kV han de seguir el que s'inclou a la ITC-BT-07 i a la ITC-BT-21.

#### *25.7.1.6. Conductors aïllats sota canals protectores*

Els cables que s'utilitzin s'han d'assignar a tensions de 0,6/1kV.

Els canals protectors han de tenir un grau de protecció IP4X,i s'han de classificar com a canals amb tapa d'accés que només es poden obrir amb eines. Seguint les instruccions del fabricant, es poden col·locar interruptors, presses de corrent, dispositius de control, etc., a més de poder-ne fer connexions i empalmaments al seu interior.

Els assaigs realitzats per aquestes característiques s'indiquen a les normes UNE-EN 501.085.

En el cas en que els canals protectors no siguin ordinaris, de les característiques descrites anteriorment, han de complir les mínimes adequades, sent no propagador de flama. Han de complir les normes UNE-EN 50.085.

Els canals amb conductivitat elèctrica han de connectar-se a terra, i la seva continuïtat cal quedar assegurada.

## **25.8. Conductors**

Tots els conductors de la instal·lació elèctrica del projecte seran de coure.

A menys que s'indiqui el contrari en algun document del projecte, l'aïllament i la coberta serà XLPE, i complirà amb el previst en la Norma UNE 21-117-74 "II".

Les connexions entre conductors es realitzaran generalment en l'interior de caixes apropiades de material aïllant.

En les instal·lacions sota tub o enterrades s'utilitzaran cables de les següents característiques:

- Tensió nominal de 0,6/1kV de tensió nominal

- Material de coure o alumini
- Formació uni-bi-tri-tetrapolars
- Aïllament de XLPE
- Instal·lació a l'aire o en safata
- Tensió de prova de 400 V
- Normativa d'aplicació UNE 21.123

Els conductors electrolítics han de tenir les següents característiques:

- Resistivitat entre el 98% i 100% a 20°C
- Tindran un revestiment d'estany
- Capacitat mínima d'aïllament de 500 V

Els cables amb una secció superior a 6 mm<sup>2</sup>, el fil de coure ha de ser trenat.

El diàmetre que s'utilitzi serà el més desfavorable dels següents casos:

- Intensitat màxima admissible, segons les prescripcions del Reglament Electrotècnic per a Baixa Tensió ITC-BT-19, o les recomanacions del fabricant.
- Caiguda de tensió del servei.
- Per l'enllumenat, la caiguda de tensió entre la font d'origen i qualsevol punt inferior no serà superior al 3% de la tensió nominal d'origen.
- Per la resta dels casos, la caiguda de tensió entre la font d'origen i qualsevol punt inferior al 5% de la tensió nominal d'origen funcionant tots els receptors a l'hora.
- Caiguda de tensió per a derivació individual inferior a 1,5%.

Els conductors de protecció seran del mateix tipus dels esmentats anteriorment, i la seva secció mínima serà l'especificada a la taula 2 de la ITC-BT-18.

En ningun cas es realitzaran la unió de conductors, mitjançant empalmes o derivacions, per simple retorçament o enrotllament entre si dels conductors, si no que s'haurà de realitzar sempre utilitzant bornes de connexió muntats individualment o constituint blocs o regletes de connexió.

Sempre que els elements de la instal·lació ho permetin s'efectuaran les connexions amb terminals de pressió. En qualsevol cas, es retirarà l'embolcall imprescindible per a realitzar el acoblament a terminals o esborrar la connexió. No s'admetrà connexions on el cable pelat sobresurti de la borna o terminal.

Cada circuit es realitzarà amb una sola tirada de cable, no permetent-se empalmes al llarg d'aquest, llevat en condicions excepcionals que jutjarà la Direcció Tècnica.

Les derivacions es realitzaran sempre mitjançant bornes o kits. No es permetrà empalmes de torsió amb aïllament de cinta.

En els circuits per cable tipus H07V, sota tub que alimenta qualsevol tipus, es cuidarà que cada conductor tingui el seu propi color, independentment dels altres.

El criteri de colors que s'exigirà serà el següent:

- Fases: negre, marró i gris
- Neutre: blau
- Protecció: groc-verd

Els cables de tipus RV 0,6/1 kV, que s'instal·lin sobre safates o qualsevol altre tipus de suport, s'abraçaran com a màxim cada 40 cm.

En tots els casos, independentment del tipus de cable que constitueix un circuit tots els conductors aniran enumerats sobre el propi cable per a la seva correcta identificació. La numeració es correspondrà amb la denominació que es donen en els plànols de cada circuit.

Els rètols de numeració seran de tipus targeter, de lletres i números indelebles, amb lletra tipus impremta, majúscula i fàcilment llegible.

## **25.9. Caixes de distribució**

Les caixes de connexió resten destinades a fer les connexions dels conductors.

Si la instal·lació està realitzada amb tubs rígids, la caixa serà de xapa d'acer d'1 mm d'espessor o bé de PVC per a muntatge superficial.

Les caixes disposaran de forats troquelats semitallats, per a les entrades dels tubs en els quatre costats.

Les tapes seran del mateix material i acabat que les caixes, i aniran cargolades a elles, al menys per dos punts. Quan s'instal·lin aquestes caixes en zones nobles, on la tapa quedi vista, aquesta estarà tractada amb una resina epòxid plastificada i acabat del color de la paret.

Les dimensions mínimes de la caixa a utilitzar seran de 100 x 100 mm. Les caixes que vagin instal·lades superficialment es fixaran a parets o forjats, al menys per dos punts.

En les caixes encastades, la tapa quedarà enrasada amb els paràmetres.

Si la instal·lació està realitzada amb tubs de PVC semi rígids, les caixes seran de plàstic.

La tapa serà de color blanc, i anirà cargolada al cos de la caixa al menys per dos punts, cuidant-se especialment en que quedi enrasada amb el paràmetre.

La dimensió mínima a utilitzar serà de 100 x 100 mm. Els forats que es realitzin en els costats de la caixa per a l'entrada de tubs, es tallaran curosament, de manera que la diferència entre el diàmetre del forat i el del tub sigui la mínima possible.

## **25.10. Mecanismes i presses de corrent**

Els interruptors i commutadors han de ser capaços de tallar la corrent màxima del circuit en el que estiguin col·locats, de manera que no es formin arcs permanents, i tenint només dues posicions. Han de ser del tipus tancat i d'algun material aïllant. Les dimensions de les peces de contacte no poden arribar als 65°C en cap de les seves peces. Poden realitzar fins a 10.000 maniobres d'obertura i tancament, amb una càrrega nominal a la tensió de treball.

S'han de marcar les intensitats i tensions nominals. Les presses de corrent han de ser d'un material aïllant, posades a terra, i portaran marcades la intensitat i tensió nominals de treball.

Si hi ha dos mecanismes junts, es tindran que posar en la mateixa caixa. Per tant, aquesta ha de tenir la dimensió suficient com per evitar contactes erronis.

## **25.11. Enllumenat d'emergència i senyalització**

Estaran situades a la caseta prefabricada del transformador .El seu flux lluminós és de 135 lm amb una autonomia de 60 minuts. Grau de protecció IP44.

Les característiques exigides per aquest tipus d'aparells seran les establertes en les normes UNE 20.062.73 i UNE 20.392.75.

### *25.11.1.1. Característiques de l'enllumenat d'emergència*

En el cas d'errada en l'enllumenat, el d'emergència ha de permetre una evacuació fàcil i segura cap a l'exterior.

Les lluminàries han de ser, o bé aparells autònoms automàtics, o bé lluminàries convencionals però connectades a una font complementària comuna, en el cas que hi hagi una fallada en el subministrament preferent baixi a menys del 70% del seu valor nominal. A més, han de funcionar, com a mínim, durant un hora.

Aquestes lluminàries han de proporcionar una il·luminació mínima de 5 lux a l'eix de tots els recorreguts d'evacuació, a les sortides de locals d'accés al públic, i en els punts que indiquin el sentit de l'evacuació.

En els accessos i emplaçaments del quadre general de distribució també s'han de col·locar lluminàries d'emergència.

Han d'entrar en funcionament quan falli l'enllumenat general, o quan la tensió del subministrament preferent baixi a menys del 70% del seu valor nominal.

#### *25.11.1.2. Característiques dels aparells autònoms i automàtics*

Les lluminàries d'emergència han de ser làmpades incandescent, o bé, fluorescents d'encesa immediata.

Les làmpades incandescent han de complir la norma UNE 20.062-93.

Les làmpades fluorescents han de complir la norma UNE 20.392-93.

L'autonomia d'aquestes llums ha de ser superior a 1 hora.

La bateria ha d'estar formada per acumuladors de Ni-Cd.

Han d'alimentar-se a  $230V \pm 10\%$ , a 50Hz.

Per instal·lació interior, han de tenir un nivell de protecció IP 447, i les instal·lacions exteriors de IP 667.

#### *25.11.1.4. Condicions d'instal·lació*

Segons els plànols del Projecte, a la sortida de l'accés s'han d'instal·lar les lluminàries d'emergència. Hauran de ser lluminàries fluorescents de 8 W, amb un flux de 180lumen que cobreixin 36 m<sup>2</sup>.

Es poden agrupar fins a 12 unitats de lluminària a la distribució elèctrica, de tal forma que el consum de cada lluminària sigui inferior a 10 A.

Les lluminàries es poden distribuir en un mínim de dues línies, per tal de garantir que, en el cas de fallada d'una línia, l'altre segueixi operativa.

### **25.12. Tomes de terra**

Amb la finalitat de limitar la tensió que en respecte a terra poden presentar en un moment donat les masses metàl·liques, assegurar la actuació de les proteccions i eliminar o disminuir el risc que suposa una averia en el material utilitzat, els circuits tindran posta a terra de les masses. Aquestes masses estaran constituïdes pels endolls elèctrics i, en general, tot aquell element metàl·lic important.

Com a toma de terra es prendrà la existent.

El conductor de toma de terra estarà diferenciat dels demès mitjançant colors.

### **25.13. Protecció contra contactes directes**

Es considerarà que la instal·lació satisfà la protecció contra els contactes directes quan:

- Les parts actives de la instal·lació es trobin a una distància del indret on les persones habitualment es trobin o circulin, que sigui impossible un contacte fortuït amb les mans, o per la manipulació dels objectes conductors.
- S'interposin obstacles que impedeixin tot contacte accidental amb les parts actives de la instal·lació. Els obstacles de protecció han de estar fixats de forma segura i resistir als esforços mecànics usuals que poden presentar-se en la seva funció. Si els obstacles són metàl·lics ha de ser considerats com masses, s'aplicarà una de les mesures de protecció prevista contra contactes indirectes.
- Es recobriran les parts actives de la instal·lació mitjançant un aïllament apropiat, capaç de conservar les seves propietats amb el temps, i que limiti el corrent de contacte a un valor no superior d'un 30mA.

### **25.14. Protecció contra contactes indirectes**

Com a protecció contra contactes indirectes s'utilitzarà un sistema de protecció tipus B consistent en la posada a terra de les masses, i la utilització d'interruptors diferencials al inici dels circuits elèctrics.

No es permetrà la connexió dels conductors neutre i de protecció excepte en el punt de posada a terra de la xarxa, ni combinar-se neutre i protecció en un sol conductor.

La sensibilitat dels interruptors diferencials s'elegiran d'acord amb la utilització en cada cas i amb el valor de la toma de terra. En general, s'utilitzaran interruptors diferencials de alta sensibilitat (30 mA) en els receptors d'enllumenat, i de mitja sensibilitat (300 mA) en la resta.

La resposta admissible en aquests interruptors estarà compresa entre el valor de la seva intensitat nominal de fuga  $I_{\Delta n}$  i el 50 % i, quan el seu temps de resposta, no hagi de ser superior a 200 ms. Amb el valor nominal de la intensitat.

En el cas de precisar una selectivitat entre diferencials, aquesta es realitzarà augmentant el temps de resposta, mai per disminució de la sensibilitat i sempre dins dels marges anteriorment fixats.

La utilització dels interruptors diferencials de alta sensibilitat es un element complementari a la toma de terra però mai substitutiu.

### **25.15. Protecció contra sobre intensitats**

Excepte els conductors de protecció, tots els conductes que formen part de un circuit, incloent el conductor neutre o compensador, estaran protegides contra els efectes de les sobreintensitats.

S'admetran com a dispositius de protecció contra curt circuits els fusibles de característiques de funcionament adequats i els interruptors automàtics de tall electromagnètic.

Els dispositius de protecció compliran les condicions generals següents:

- Hauran de poder suportar la influència dels agents exteriors als quals estan sotmesos, presentant el grau de protecció que els correspongui d'acord amb les condicions d'instal·lació.
- Els fusibles aniran col·locats sobre material aïllant incombustible i estaran construïts de forma que no puguin projectar metall al desfer-se. Compliran la condició de permetre el seu recanvi sota tensió de la instal·lació sense cap perill. Tindran que portar marcada la intensitat i tensió nominal de treball per a les que han estat construïdes.
- Els interruptors automàtics seran els apropiats als circuits a protegir responent al seu funcionament a les corbes d'intensitat - temps adequat.

### **25.16. Condicions d'ús, manteniment i seguretat**

En cas de detectar qualsevol anomalia, s'avisarà a un instal·lador electricista autoritzat per a que procedeixi a la seva reparació.

L'instal·lador ha d'entregar a la propietat els plànols de la instal·lació efectuada, normes de muntatge i dades sobre les garanties, així com el pla de reposició dels diferents elements que el formen.

L'instal·lador informará a l'equip de manteniment de l'edifici en els aspectes que s'exposa a continuació:

- Cada cinc anys ens comprovarà els dispositius de protecció contra incendis, contactes directes i indirectes, i les intensitats nominals en funció dels conductors que el protegeixen, del quadre general.
- Cada cinc anys es comprovarà l'aïllament de la instal·lació interior que, entre cada conductor i el terra, i entre cada dos conductors, no sigui inferior a 0,5 MW. Si escau, es repararan els desperfectes.
- Cada dos anys, i quan el terreny estigui més sec, es mesurarà la resistència del terra i es comprovarà que no sobrepassi el valor prefixat. També es comprovarà, mitjançant inspecció visual, la corrosió de la connexió del conductor de posada a terra a l'arqueta o arquetes, i la continuïtat de la línia. Es repararan els defectes trobats.
- Cada dos anys es comprovarà per inspecció visual, l'estat davant la corrosió de totes les connexions, així com la continuïtat de la línia. S'han de reparar els defectes trobats.

### **25.17. Certificats i documentació**

La direcció tècnica de les obres s'encomanarà a un tècnic titulat competent en la matèria, sent la seva missió la següent:

- a) Replantejament de les instal·lacions segons les directrius del projecte i d'acord amb la propietat i l'instal·lador autoritzat executor de la mateixa.
- b) Vigilància i control de la qualitat dels materials a utilitzar.



- c) Comprovació que la instal·lació compleix amb les indicacions del projecte i prescripcions del Vigent Reglament de B.T.7
- d) Certificació de cada una de les parts finalitzades de la instal·lació.

### **25.18. Llibre d'ordres**

Existirà un llibre d'ordres en el que s'hi reflexa les incidències i observacions necessàries, per el correcte desenvolupament de les instal·lacions.

### **25.19. Proves específiques de la instal·lació elèctrica**

Es desenvoluparan les proves indicades en les Especificacions Tècniques. El instal·lador comunicarà a la Direcció Facultativa que la instal·lació està en condicions d'efectuar les proves quan es consideri que el resultat d'aquestes serà satisfactori i hagi entrat en els plànols definitius.

La Direcció Facultativa efectuarà les proves pertinents i revisarà els plànols, en presència de la persona responsable de la instal·lació.

En cas de resultar negatives, encara que sigui una part, es proposarà un altre dia per efectuar les proves, quan l'instal·lador ho cregui convenient i després d'haver analitzat i reparat les anomalies que no concordin amb els plànols. Si en la segona revisió s'observa de nou anomalies la Direcció Facultativa procedirà a la Recepció Provisional, en conseqüència, les despeses aniran a càrrec del instal·lador.

### **25.20. Posada a terra**

Per tal de aconseguir una adequada posada a terra i assegurar amb ell unes condicions mínimes de seguretat, s'haurà de realitzar les instal·lacions d'acord amb les instruccions següents:

La posada a terra es farà a través de piquetes d'acer, recobertes de coure, si no s'especifica el contrari en cap document del projecte.

La configuració d'aquestes ha de ser arrodonida, de alta resistència, assegurant una màxima rigidesa per a facilitar la seva introducció en el terreny, evitant que la piqueta es doblegui degut a la força dels cops.

Totes les piques tindran un diàmetre mínim de 14 mm de diàmetre.

Per a la connexió dels dispositius del circuit de posada a terra, serà necessari disposar de borns o elements de connexió que garanteixin una unió perfecta, tenint en compte que els esforços dinàmics i tèrmics en cas de curt circuit són molt elevats.

El conductor que constitueixin les línies d'enllaç amb terra, les línies principals de terra i les seves derivacions, seran de coure i la seva secció no podrà ser en cap cas menor de 35 mm<sup>2</sup> per a les línies principals a terra, ni de 16 mm<sup>2</sup> per a les línies derivades d'enllaç amb piquetes. Aquestes seccions corresponen a conductors de coure.

Els conductors despulats enterrats en el terra es consideraran que formen part del elèctrode de posada a terra. Si en una instal·lació existeixen tomes de terra independents es mantindran entre els conductors de terra una separació i aïllament apropiada a les tensions susceptibles que apareixen entre aquests conductors en cas de falta.

El recorregut dels conductors serà el més curt possible i sense canvi brusc de direccions. No estaran sotmesos a esforços mecànics i estaran protegits contra la corrosió i el desgast mecànic.

Els circuits de posada a terra formaran una línia elèctricament continua en la que no es podrà incloure ni masses, ni elements metàl·lics. Les connexions a massa i elements metàl·lics s'efectuaran sempre per derivacions del circuit principal.

Aquests conductors tindran un bon contacte elèctric, tant amb les part metàl·liques i masses, com amb l'elèctrode. A aquestes efectes les connexions dels conductors s'efectuaran amb tota cura, mitjançant peces de empalmes adequades, assegurant una bona superfície de contacte de forma que la connexió sigui efectiva, mitjançant; cargols, elements de compressió, rebladures o soldadures d'alt punt de fusió. Es prohibeix la utilització de soldadures de baix punt de fusió, tals com: estany, plata, etc.

Es realitzaran les següents proves:

- Mesura de la presa de terra.
- Mesura d'aïllament de tots els conductors actius entre si i entre el neutre i toma de terra.
- Comprovació de continuïtat de la toma de terra.
- Comprovació de les proteccions

Abans de realitzar el acte de Recepció provisional, s'haurà de complir els següents requisits previs:

- Realització de les proves finals a perfecta satisfacció del Director d'obra.
- Presentació del certificat de les instal·lacions davant SS.TT. de Industria i Energia.

**DOCUMENT N°8:**  
**ESTUDI DE VIABILITAT AMBIENTAL**

## **26. Viabilitat ambiental**

### **26.1. Objecte**

L'objecte d'aquest estudi és definir el impacte ambiental que suposaria la instal·lació d'un aerogenerador en el indret de Font Rubí, així com proposar les mesures correctores necessàries.

### **26.2. Normativa Mediambiental**

Les normatives que s'han seguit per a la redacció d'aquest estudi han estat:

- PEIN
- Pla de Recursos Eòlics
- ZEPA
- Xarxa Natura 2000
- Llei 16/2002 de protecció contra la contaminació acústica.
- Llei 10/1998 de residus.
- Decret 93/1999 Procediments de gestió de residus.

#### **26.2.1. Declaració d'Impacte Ambiental**

El Decret 174/2002, de 11 de juny, en el seu Article 13, defineix els casos en què els projectes de parcs eòlics s'han de sotmetre al tràmit de declaració d'impacte ambiental:

- Parcs situats en zones d'implantació condicionada, del Mapa d'Implantació Eòlica.
- Parcs situats a menys de 2 km de parcs existents.
- Parcs que ocupin una línia de carena de longitud superior als 3.000 m.
- Parcs situats a menys de 500 m d'un nucli de població.
- Parcs amb línia d'evacuació amb tensió de 25 kV, o inferior.

La instal·lació no està inclòs en cap dels supòsits esmentats, per tant no li escau l'obligació de Declaració d'Impacte Ambiental. No obstant, es fa un estudi del impacte que la instal·lació del molí pot suposar per al medi ambient.

### **26.3. Metodologia**

Selecció de l'emplaçament:

- Estudi dels parcs existents i en tràmit.

- Distribució per províncies.
- Disponibilitat de vent : Mapa de Recursos Eòlics.
- Estudi de 4 zones d'acord amb :
  - PEIN ( Pla d'Espais d'Interès Natural )
  - Pla d'Implantació Eòlica
- Zones ZEPA ( Zones Especials de Protecció d'Aus )

Selecció de la zona per ubicar el parc:

- Ubicació dels elements del parc:

- Distàncies als nuclis habitats
- Proximitat a camins existents.
- Proximitat de zones boscoses

Impacte sonor:

- Normativa acústica
- Nivells de so en els indrets afectats

Impacte social:

- Influència del parc sobre els habitants

Impacte visual:

- Valoració d'aspectes positius i negatius

Impacte sobre la fauna:

- Aus
- Habitants del sòl i del subsòl

Impacte sobre la vegetació:

- Espècies presents en el indret.

Impacte en el sòl:

- Camins existents

- Camins nous
- Moviments de terres

Emissions a l'atmosfera i estalvi de combustibles fòssils:

- Valoració de les emissions de CO<sub>2</sub>
- Equivalència de la energia produïda en Equivalent de Petroli

Mesures correctores:

- Gestió de residus

## **26.4. Ubicació del aerogenerador**

### **26.4.1. Antecedents: Estat de la producció eòlica a Catalunya**

Com a pas previ a la situació del parc eòlic en projecte, es fa un estudi de la distribució dels parcs existents a Catalunya.

Es presenten les dades de quatre supòsits:

- En funcionament
- Autoritzats
- En tràmit
- Desballestats

### **26.4.2. Parcs eòlics en funcionament**

Amb data 01/1/2010 hi han a Catalunya 25 parcs en funcionament, amb una potència total instal·lada de 654,51 MW. S'ha descomptat el parc de Roses, recentment desmantellat

### **26.4.3. Parcs eòlics autoritzats**

Amb data 01 / 01 / 2010 hi han a Catalunya 44 parcs autoritzats, alguns d'ells en fase de construcció. La seva potència instal·lada serà de 1527.75 MW.

A la Taula A.6 situada al annex 3 es mostra una taula resum dels parcs eòlics autoritzats a Catalunya.

#### 26.4.4. Parcs eòlics en tràmit

Amb data 01 / 01 / 2011 hi han a Catalunya 24 parcs en tràmit, pendents d'autorització administrativa, amb una potència total prevista de 711.65 MW.

NOM	MUNICIPI	COMARCA	PÒTENCIA (MW)
Biure-Pont de Molins	Molins Biure Pont de Molins	Alt Empordà	30
Carabers	El Molar, La Figuera	Priorat	50
Colomer	Aguilar de Segarra, Castellfollit del Boix, Rajadell, Rubió, Òdena	Anoia	23,38
Coma Bertran	Vallbona de les Monges, Els Omells de Na Gaia	Urgell	16,5
Els Brois	Pinell de Brai	Terra Alta	18,37
Foradades	Cabacés, La Bisbal de Falset	Priorat	42
La Pinadeta	Vilanova de Prados	Conca de Barberà	25,5
L'Auleda	La Jonquera, Cantallops	Alt Empordà	24
La Coma	Cabacés, Vinebre, La Palma d'Ebre	Priorat, Ribera	32

Taula 26.1. Parcs eòlics en tràmit

#### 26.4.5. Parcs eòlics desballestats

Amb data 01 / 01 / 2010 s'ha desballestat un parc, amb una potència de 0.65 MW.

Nom	Municipi	Comarca	Potència (MW)
Roses	Roses	Alt Empordà	0,65

Taula 26.2. Parcs eòlics en tràmit

#### 26.4.6. Distribució per províncies

A partir de les dades anteriors, es fa un estudi de la distribució per províncies dels parcs eòlics de Catalunya.

En la columna del total, s'ha suposat que en un futur proper, tant els parcs amb autorització administrativa com els que l'estant tramitant, arribaran a estar en funcionament.

En la columna del percentatge, es reflecteix la proporció de parcs (o de MW) de cada província respecte del total.

Atenent al nombre de parcs:

Província	En funcionament	Amb autorització administrativa	En tràmit	Total	%
Barcelona	2	6	4	12	13,6
Tarragona	10	25	13	48	54,5
Lleida	2	12	4	18	20,5
Girona	0	7	3	10	11,4
TOTALS	14	50	24	88	100

Taula 26.3. Nombre d'instal·lacions per províncies (existents + previstos)

Atenent als MW instal·lats:

Província	En funcionament	Amb autorització administrativa	En tràmit	Total	%
Barcelona	75	213,87	98	421,87	19,8
Tarragona	177,4	768,98	47	993,38	46,7
Lleida	90	406,05	75	571,05	26,8
Girona	0	138,85	4	142,85	6,7
TOTALS	342,4	1527,75	224	2129,15	100

Taula 26.4. Nombre MW instal·lats per províncies (existents + previstos)

## 26.5. Consideracions per una correcta situació

És evident que el motiu principal per a instal·lar un aerogenerador és treure'n un rendiment econòmic. Però l'aspecte econòmic no es l'únic que s'ha de considerar: Hi ha aspectes energètics, tècnics i mediambientals que cal valorar, per separat i globalment.

### 26.5.1. Aspectes energètics

Possibilitats de generació

La suficiència de vents és un factor determinant a l'hora de situar un parc. Calen estudis "in situ" durant un període de temps d'uns dos anys per a determinar si un indret es favorable des del punt de vista energètic. Una aproximació "a priori" es pot fer a partir del Mapa de Recursos Eòlics de la Generalitat.



## Possibilitats d'evacuació

El fet que existeixi una xarxa de Mitja Tensió a prop del indret considerat, afavoreix l'evacuació de L'energia. D'altra manera, el fet de construir una línia nova d'evacuació podria tenir un impacte mediambiental desfavorable, que el fes inviable.

### **26.5.2. Aspectes tècnics**

L'estat actual de la tècnica ens permet una gran varietat d'instal·lacions eòliques: Segons la velocitat del vent:

- Aerogeneradors per a règims de vent molt baixos.
- Aerogeneradors per a règims de vent molt elevats.

Segons l'emplaçament:

- A l'interior del territori.
- Offshore<sup>11</sup>

Un cop escollit un emplaçament trobarem un ampli ventall de solucions tècniques per aprofitar l'energia disponible.

### **26.5.3. Aspectes mediambientals**

Hi han dos aspectes fonamentals :

- Respecte a la natura.
  - Protecció de fauna
  - Protecció de vegetació
  - Protecció de recursos naturals ( aigua, sol, paisatge )
- Respecte a les persones
  - Interferència amb usos humans
  - Distàncies a nuclis habitat
  - Concentracions de parcs

---

<sup>11</sup> A l'interior del mar

A l'hora de situar un molí, cal avaluar el impacte que pot tenir sobre cadascun d'aquests aspectes, i si cal, proposar mesures correctores.

## 26.6. Procés de selecció de l'emplaçament del parc

Barcelona i Girona són les províncies que menys aerogeneradors tenen instal·lats, i el seu nivell de potència instal·lada també és el més baix. Però a la província de Barcelona es concentra bona part del consum energètic de Catalunya. Per aquest motiu es limita la recerca de possibles emplaçaments a la província de Barcelona.

Cal tenir en compte, però, que un parc eòlic no es pot situar en qualsevol indret. Hi ha tres nivells de normatives, que condicionen l'ús del sòl.

### 26.6.1. Protecció horitzontal

Legislacions d'aplicació a tot el territori, com ara Espècies protegides, Impacte Ambiental, Costes, Aigües, Urbanística, Forestal...

### 26.6.2. Protecció territorial

El PEIN, Pla d'Espais d'Interès Natural, és el règim jurídic destinat a la conservació de zones d'alt valor d'interès natural. Vetlla per la protecció d'aquestes zones enfront de possibles causes de degradació.

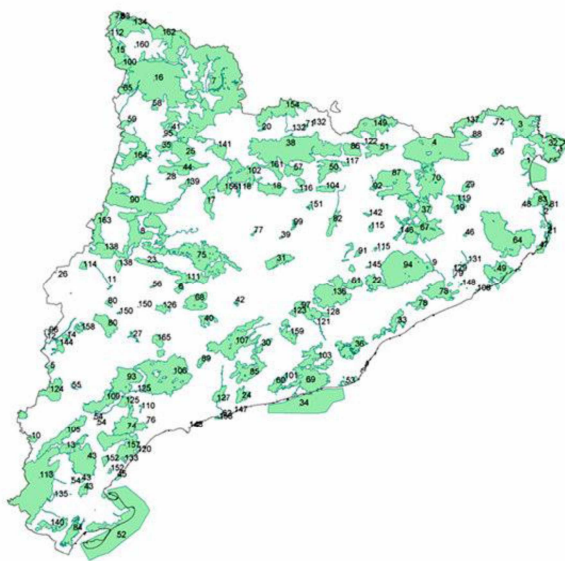


Figura 26.1. Mapa PEIN

### 26.6.3. Espais naturals de protecció especial

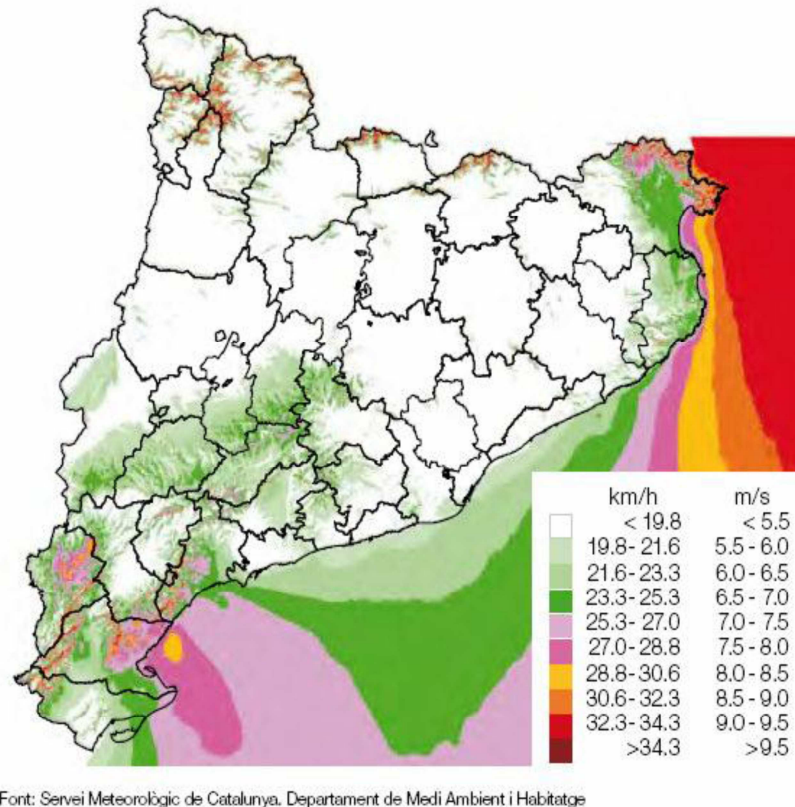
#### Parcs Naturals



**Figura 26.2. Situació dels parcs Naturals a la província de Barcelona**

- 1.- St. Llorenç del Munt i l'Obac
- 2.- Castell de Montesquiú
- 3.- Montseny
- 4.- Guàrdies-Savassona
- 5.- Serralada Litoral
- 6.- Montnegre i el Corredor
- 7.- Foix
- 8.- Ollèrdola
- 9.- Garraf
- 10.- Parc Agrari del Baix Llobregat
- 11.- Collserola
- 12.- Serralada de Marina

#### 26.6.4. Zones amb suficiència de vent



**Figura 26.3. Mapa d'intensitats de vent. (servei meteorològic de Catalunya)**

La Generalitat de Catalunya ha elaborat un mapa d'intensitats de vent a partir de dades estadístiques. És d'especial interès, ja que indica, a priori, els indrets on seria més idoni instal·lar un aerogenerador, des del punt de vista energètic.

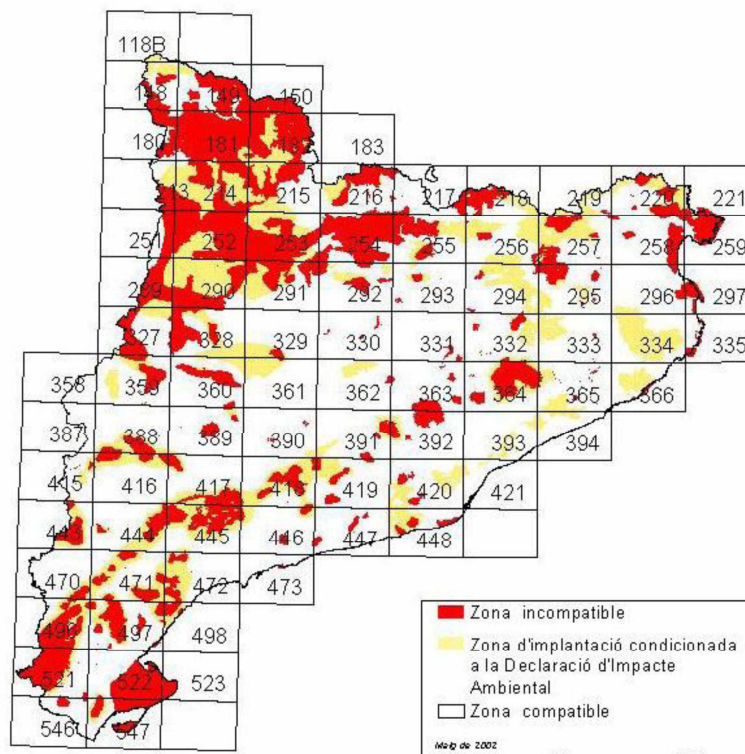
#### 26.6.5. Mapa d'implantació eòlica de Catalunya

El Departament del Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, ha dissenyat un Pla d'Implantació Eòlica, on es delimiten tres tipus de zona, segons la seva compatibilitat amb la instal·lació de aerogeneradors:

- Zona incompatible (color vermell), que ocupa un 23 % del territori, on no és possible instal·lar cap activitat de tipus parc eòlic. Inclou:

- Parcs Nacionals i Parcs Naturals.

- Parcs d'Interès Nacional.
  - Reserves Naturals.
  - Espais PEIN amb superfície menor de 1000 Ha.
  - Zones d'especial protecció d'aus ( ZEPA ).
- Zona d'implantació condicionada a la Declaració d'Impacte Ambiental (color groc), que ocupa un 16,6 % del territori, i on es possible la instal·lació de molins de vent en funció del impacte ambiental. Inclou:
    - Reserves Naturals parcials.
    - Espais PEIN que no són de protecció especial, i que tenen una superfície major que 1000 Ha.
    - Franges frontereres d'espais qualificats com a zona incompatible.
  - Zona compatible ( color blanc ), que ocupa el restant 60,4 % del territori. És necessària l'Autorització Ambiental per a instal·lar un parc eòlic.



**Figura 26.4. Mapa del Pla d'implantació Eòlica**

## **26.7. Impacte visual**

Un aerogenerador de 80 m d'altura, amb unes pales de 40 m no és una estructura que passi desapercebuda. Però la valoració del impacte visual no deixa de ser molt subjectiva.

### **26.7.1. Aspectes visuals negatius**

- Les torres de 80 m són visibles des d'una distància considerable.
- El color gris-blanc destaca sobre el verd de la muntanya.
- El moviment giratori de les pales pot causar molèstia visual.

### **26.7.2. Aspectes visuals positius**

- El color gris-blanc tendeix a quedar dissimulat sobre el fons del cel.

## **26.8. Impacte sonor**

### **26.8.1. Definició**

El soroll es un so no desitjat, definint aquest com una variació de pressió en l'ambient que es propaga a través d'un mitjà elàstic tal com l'aire, per mig d'una alternativa compressió i expansió de les molècules, a una freqüència característica del medi, i que l'oïda humana pugui captar.

La freqüència del so (Hz) es el nombre d'ones sòniques que passen per una posició determinada en un segon, o bé, es el nombre de vegades per segon que la pressió sònica varia en un cicle complet de compressió i expansió.

L'ona sònica té un pressió que faci que fluctui per dalt i per sota de la pressió atmosfèrica i que produeixi la sensació auditiva del so. La pressió del so es el valor eficaç de tots els que va prenent.

La reducció del soroll té dos efectes beneficiosos, complir la llei de prevenció de riscos laborals i amb l'ideal de la Organització Mundial de la Salut (O.M.S).

Temps d'exposició (hores)	Nivell de soroll (dBA)
8	90
4	95
2	100
1	105
0,5	110
≤0,25	115

**Taula 26.5. Nivells de soroll i temps màxim de exposició admissible**

El soroll alt està associat amb el nivell de pressió exercit sobre el timpà. L'oïda humana respon a una ampla varietat de nivells de pressió amb una diferència màxima de  $10^{14}$  entre el soroll més dèbil que pot detectar-ne i el més alt que pot tolerar-ne. Degut a aquest interval tan ampli, el soroll es mesura en (dB) en un escala logarítmica, en la que l'origen està en 0 dB i el màxim en 140 dB. El decibel es un nombre sense dimensions que relaciona el nivell de potencia sònica amb el nivell de potencia de referencia ( $1 \cdot 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>) i equival a :

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{pot. mesurades}{pot. referència} \right)$$

**Equació 26.1. Càlcul del nivell de decibels**

Nivell del so	dB (A)	Nivell del so	dB (A)
Llindar d'audició	0	Camió a 60 Km/h a 100m	65
Cruixit d'herba	10	Tràfic urbà	80
Rellotge elèctric a 3 m	20	Orquestra simfònica	90
Estudi de gravació	30	Taladradora neumàtica a 7m	95
Àrea rural per la nit	20-40	Concert de rock	120
Biblioteca	40	Prensa hidràulica	130
Cotxe a 80 Km/h	55	Llindar de dolor	140
Conversa	60	Reactor (a 10 m)	150

**Taula 26.6. Nivell de pressió sònica de sorolls comuns – dB (A)**

L'escala en dB és una escala logarítmica. Això vol dir que, en doblar la pressió sonora l'índex es multiplica aproximadament per 3.

Com que el so es propaga en totes direccions, si considerem una esfera de radi R, la seva superfície és  $4\pi R^2$ . Si considerem una esfera de radi 2R, la seva superfície es veu augmentada 4 vegades.



### 26.8.2. Normativa acústica

La llei Catalana 16/2002 de protecció contra la contaminació acústica, en l'apartat 5 de l'article 12 (Règim de les infraestructures), diu:

“als habitatges situats al medi rural els són aplicables els valors límit d'immissió establerts per l'annex 1, corresponents a una zona de sensibilitat acústica alta, si compleixen les condicions següents:

- a) Estar habitats de manera permanent.
- b) Estar aïllats i no formar part d'un nucli de població.
- c) Ésser en sòl no urbanitzable.

### 26.8.3. Sorolls dels aerogeneradors

Les turbines dels aerogeneradors produeixen dos tipus de soroll, mecànic i aerodinàmic.

La vibració mecànica es produïda en la caixa de engranatges i en els mecanismes de transmissió del moviment de les pales, i presenta diferents tonalitats. L'aïllament d'aquest tipus de soroll es fàcil i s'aconsegueix desant els mecanismes en una caixa aïllant, instal·lant muntatges antivibradors i amortidors o bé utilitzant caixes de engranatges especialment dissenyades per a que generin petits nivells de soroll.

El soroll aerodinàmic prové del flux turbulent del aire al passar per la superfície de les pales de les turbines, presentant-ne un àmplia gama de freqüències. No obstant, el soroll de commutació està relacionat amb els sorolls naturals. El soroll aerodinàmic es produeix en les puntes de les pales i en el bord de fuga de les mateixes, si bé, els dissenys actuals l'han reduït significativament.

En les pales, la diferència de pressions entre el extradós (part superior) i el intradós (part inferior) tendeix a crear unes corrents d'aire transversals, de cap avall a cap dalt i al llarg de la envergadura, que es superposen a la corrent longitudinal normal de l'aire al voltant de la pala.

Aquestes corrents transversals deixen de estar suportades en les puntes de la pala. Les condicions que allà es troben són, que per un costat, en el extradós existeix una menor pressió i major velocitat del aire que en el intradós, on hi ha una major pressió i menor velocitat, i per un altre costat la corrent lateral en la punta és més gran que la que existeix en qualsevol punt del bord d'atac de la pala. Per tant, s'origina una corrent de cap avall cap a dalt que al xocar contra la corrent lateral, dona lloc a *remolins de punta de la pala* que es desplacen cap endarrere enrosquant-se en sentits oposats.

### 26.8.4. Nivells de so en els indrets afectats

En la zona afectada pel aerogenerador hi ha un grup de cases. S'han considerat com a nuclis permanentment habitats, aïllats, que no formen part d'un nucli de població, i que estan situats en sòl urbanitzable.

Per a fer l'estudi sonomètric, s'ha partit de la base que el fabricant declara un nivell d'emissió sonora inferior als 100 dB, que és nivell base usat en l'aplicació de càlcul sonor de Windpower. Dita aplicació permet conèixer el nivell sonor a una certa distància del focus, i en cas de més d'un focus emissor, conèixer el valor global de la immissió, en dB.



Com a exemple de càlcul, es mostren les dades corresponents al indret anomenat Can Suriol:

	Turbina fuente dB(A)	Distancia m	Nivel de sonido resultante en dB (A)	Potencia sonora W/m <sup>2</sup>
Casa 1	100	50	55.029	0.0000003183
Casa 2	100	250	41.049	0.0000000127
Casa del propietari	100	350	38.127	0.0000000065
Total			55.283	0.0000003375

Figura 26.5. Exemple de càlcul del soroll

## 26.9. Centelleig

Es la reflexió intermitent dels raigs del Sol en les pales de la turbina, visible des d'una distància de 10 a 15 km i que pugui tindre un efecte molest en alguns observadors. Si les turbines estan pròximes a alguna carretera, centelleig pot distraure als conductors.

La seva intensitat depèn dels següents factors:

- Elevació solar.
- Orientació de la turbina.
- Pas de les pales.
- Reflectivitat de les superfícies de les pales i de la góndola.
- Velocitat de rotació de les pales.

Les pales modernes son de gran longitud (80 – 100 – 120 m) i es construeixen amb fibra de carbó que presenten un aspecte superficial mat o apagat, al contrari de les primeres pales d'acer o alumini.

## 26.10. Parpelleig per l'ombra de les pales

Es l'efecte de reflex de la rotació de les pales de la turbina contra el fons del cel, en particular si el sol es troba darrera de les turbines. En el vespre, l'ombra de la turbina girant es projecta sobre una gran extensió de terreny, en les cases i jardins pròxims, el que pot provocar malestar en els individus.

Les persones epilèptiques (0,5% de la població mundial), entre el 3 y el 5% son sensibles a la epilèpsia fotosensible provocada per la freqüència e intensitat del parpelleig, i en proporció al camp de visió que el

receptor observa en l'emissor. En experiments realitzats es va detectar que aquestes persones presenten una reacció adversa a les freqüències entre 2,5 i 20 Hz.

Una turbina de 35 rpm genera un parpelleig de freqüència:

$$3 \text{ pales} \cdot 35 \text{ rpm} = 105 \text{ rpm} = 1,75 \text{ Hz} < 2,5 \text{ Hz}$$

Mentre que una turbina de velocitat d'operació 15 rpm, típica de les turbines amb un rotor de 80 a 120 rpm de diàmetre, té una freqüència de excitació de:

$$3 \text{ pales} \cdot 15 \text{ rpm} = 45 \text{ rpm} = 0,75 \text{ Hz} < 1 \text{ Hz}$$

Com que aquest valor està fora del marge que afecta a les persones epilèptiques, es considera que el impacte es mínim.

A partir de les coordenades del lloc, es pot conèixer la trajectòria del Sol (elevació i azimuth<sup>4</sup>) i calcular el temps en que el Sol, les turbines i el receptor (vivenda) estaran alineats per generar el parpelleig. Es pot considerar les següents hipòtesis:

- El Sol ha d'estar com mínim 3° sobre l'horitzó.
- Nombre de dies nuvolats en els que lògicament no hi haurà parpelleig.
- Nombre de dies en els que les turbines no giren al capvespre.
- Els efectes de parpelleig son menyspreables a distàncies majors de 10 vegades el diàmetre del rotor de la turbina o bé d'1 a 2 km de la turbina.
- El temps estimat de l'ombra de les pales al posar-se el Sol pot ser de 2h/dia, el qual, en el cas d'un parc eòlic amb nombroses vivendes, pot representar, considerant que hi haurà dies nuvolats o amb pluja, unes 400h/any.

Per determinar amb més exactitud aquest nombre, s'estudien els següents factors.:

- Període d'enfosquiment del sol pels núvols.
- Orientació de les turbines.

Períodes de baixa i alta velocitat del vent (menys de 3 m/s o major de 25 m/s, respectivament), durant els quals les turbines no funcionen.

- Distància de les cases a les turbines.

En el cas estudiar, s'ha considerat que el lllindar d'afectació de parpelleig es de 35/40 hores/any. En la següent taula, es pot observar els diferents impactes en l'efecte ombra.

Factor	Impacte en l'efecte ombra (parpelleig)
Temps atmosfèric	Una baixa visibilitat redueix la intensitat de parpelleig
Projecció densa d'obstacles	Els arbres o edificis situats entre les turbines i el receptor redueixen la presencia e intensitat del parpelleig.
Altura del cub	Una gran altura espaiarà el parpelleig en una major àrea, reduint la intensitat del parpelleig.
Distància	A major distància, disminueix el parpelleig ja que les pales cobriran un menor espai del disc solar i amés l'ombra del disc rotòric estarà desenfocada, donant lloc a un parpelleig diferent. A distàncies entre 500 a 1000 m, depenent del diàmetre del rotor, aquest apareixerà al observador com un objecte estacionari amb el Sol darrere.
Colines distants	Quan el Sol es troba sota l'horitzó, les colines o muntanyes llunyanes poden eliminar l'ombra de les pales.
Angle entre el Sol i el pla del rotor	Quan, des de el punt de vista del observador, el pla del rotor esta alineat amb el Sol i el receptor, l'ombra serà molt estreta i de baixa intensitat. El contrari ocorre quan el pla del rotor es perpendicular a la línia Sol-receptor, en aquest cas, l'ombra de les pales serà màxima.
Posició del Sol amb relació a les pales del rotor	Les pales del rotor son de poc espessor en la punta i tenen el màxim en el cub. D'aquest mode, amb el moviment del Sol, l'ombra de la punta de les pales es de poca intensitat, va creixent fins arribar al cub del rotor, i decreix al moure's en el costat oposat del rotor.

**Taula 26.7. Diferents impactes en l'efecte ombra**

## 26.11. Risc de ruptura del aerogenerador

Les turbines presenten molts pocs riscos per la seguretat de les persones i dels bens. S'han realitzat molts assaigs sobre les pales i sobre els components crítics del aerogenerador (pales, caixa, eix principal i els seus suports, corona d'orientació, torre i cimentacions), per confirmar que la seva vida útil serà de 20 anys, d'aquest mode que es molt estrany que falli una turbina i el risc es molt baix ja que el sistema està totalment automatitzat.

La distància teòrica màxima que pot arribar un fragment d'una pala al trencar-se aquesta, es de 400 m, si bé en els pocs casos que ha ocorregut ha estat molt menor, La probabilitat de que el fragment arribi a alguna persona es de 100 vegades menor que la probabilitat de que dita persona sigui aconseguida per un raig.

## **26.12. Impacte sobre la fauna**

El impacte dels aerogeneradors sobre la població d'aus pren una dimensió mediàtica que no sempre s'ajusta a la realitat. Es tendeix a magnificar l'efecte de les morts per col·lisió amb les pales dels aerogeneradors per justificar el impacte negatiu.

Poc se'n parla, en canvi, de l'efecte que sobre la població de rosegadors i els seus predadors, que viuen en caus soterrats, pot produir la instal·lació d'un molí.

### **26.12.1. Aus**

S'ha descrit la presència d'aus rapinyaires com:

- Àliga daurada
- Àliga cuabarrada
- Esparver
- Falcó mostatxut

Les aus autòctones tendeixen a adaptar-se a la presència dels aerogeneradors, mentre que les aus emigrants poden modificar lleugerament la seva trajectòria si coincideix amb un parc eòlic. De totes maneres, no es pot descartar que hi hagi impactes d'aus contra les pales.

### **26.12.2. Habitants del sòl i del subsòl**

Presència de petits mamífers:

- Rat penat
- Petits rosegadors
- Conill

I els seus predadors naturals :

- Guineu

En la fase de construcció es poden destruir caus en diverses accions:

- Excavar les rases per a cablejat.
- Excavar fosses per a fonaments de torres.
- Excavar fosses per allotjar centres de connexió.

- Eixamplament de camins.
- Excavació per a plataformes de muntatge.
- Obertura de camins nous.

A més, es poden destruir corredors naturals en obrir nous camins i excavar plataformes.

### 26.13. Impacte sobre la vegetació

El impacte de un parc eòlic en funcionament sobre la vegetació es pot considerar nul, però en la fase d'instal·lació (o desballestament) pot ser considerable.

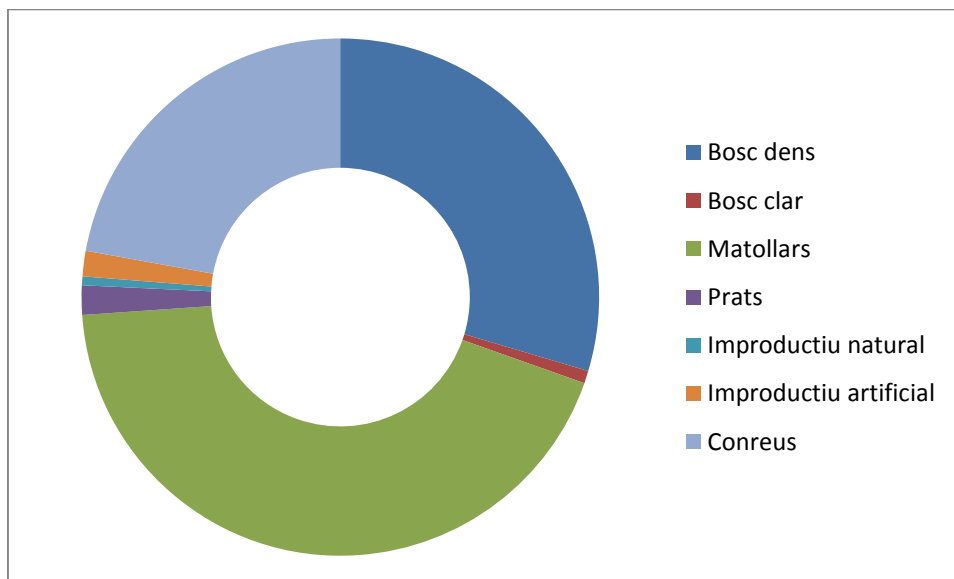
Les principals actuacions que poden afectar a la vegetació existent són:

- Eixamplament de camins existents.
- Obertura de nous camins.
- Creació de plataformes de muntatge.
- Excavacions per allotjar instal·lacions elèctriques.

Al Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya, del Departament de Medi Ambient de la Generalitat, en la Regió V, comarca de l'Alt Penedès es troba la classificació del sòl, i la distribució d'espècies presents.

Tipus	Percentatge
Bosc dens	29.62 %
Bosc clar	0.78 %
Matollars	43.51 %
Prats	1.83 %
Improductiu natural	0.56 %
Improductiu artificial	1.59 %
Conreus	22.13 %

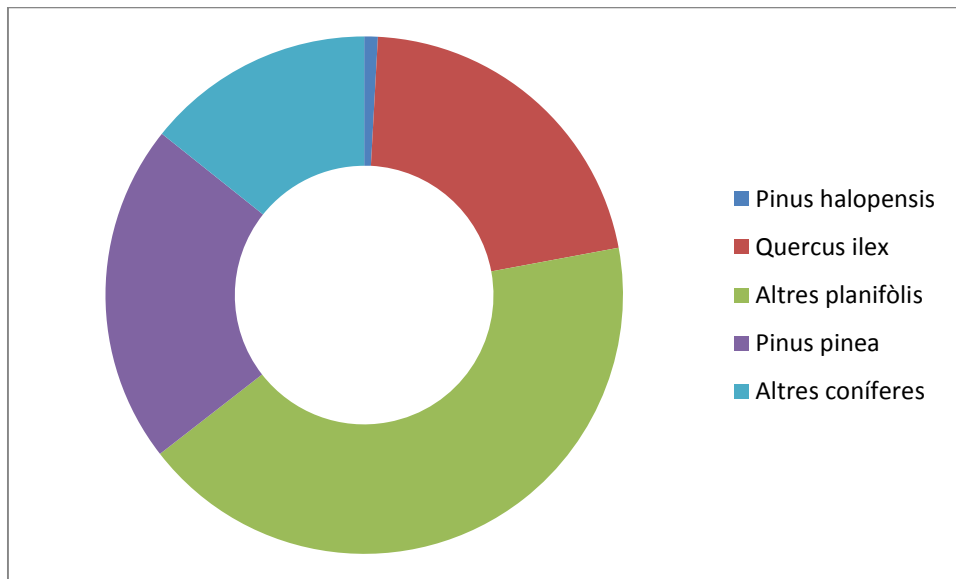
Taula 26.8. Classificació del sòl de l'Alt Penedès



**Gràfica 26.1. Classificació del sòl de l'Alt Penedès**

Tipus espècie	Superfície
Pinus halopensis	12,481 Ha
Quercus ilex	315 Ha
Altres planifòlis	629 Ha
Pinus pinea	315 Ha
Altres coníferes	212 Ha

**Taula 26.9. Distribució d'espècies vegetals a l'Alt Penedès**



**Gràfica 26.2. Distribució d'espècies vegetals a l'Alt Penedès**

Al banc de dades de figures i instruments per a la protecció del patrimoni natural de Catalunya, Protnat, del Departament de Medi Ambient, no hi figura cap espai protegit en el municipi estudiat. Per tant, es pot considerar que el impacte sobre la vegetació és moderat.

#### **26.14. Impacte sobre el sòl**

El 95 % de les línies elèctriques del parc estan situades en els laterals de camins existents, dels quals un 50 % es necessiten condicionar en amplada per al muntatge. Un cop acabades les obres els camins quedaran a una amplada màxima de 4,5 metres. Es poden destruir marges de pedra seca.

El major impacte tindrà lloc durant la fase de muntatge del aerogenerador, en que es remourà gran quantitat de materials, degut a la excavació de rases, plataformes de muntatge, eixamplament de camins, fosses per aerogeneradors i centres de MT. A més, caldrà reservar un indret per allotjar temporalment terres provinents d'excavació, ja que es pretén que un 25 % del material extret es pugui reutilitzar en el mateix parc.

Eventualment, en la fase de desballestament caldrà reomplir les rases i fosses, un cop desmantellades les instal·lacions. Els materials que s'utilitzin hauran de ser de característiques similars als originals.

#### **14.15. Senyalització i abalisament**

En Europa, les Autoritats d'Aviació Civil són les responsables de la regulació de les activitats aeronàutiques, a través de ICAO (International Civil Aviation Organization).

La construcció d'un aerogenerador o un parc eòlic pot afectar les operacions d'aviació:

L'estructura alta considerada com una obstrucció vertical en els vols a baixa cota. Els camps d'aviació controlats disposen d'un cercle de 5 milles o més on es realitzen les aproximacions al camp i el circuit de tràfic. Els mapes dels aeroports inclouen les zones més altes amb els valors de les altures i les zones protegides.

Les pales en rotació poden afectar als aparells de navegació i altres equips. La altura de les turbines poden afectar a les operacions de radar de camp, les militars, les de ruta o meteorològiques, les microones associades als radars primari i secundari i les ajudes a la navegació. Per aquest motiu, qualsevol instal·lació eòlica que es desitgi situar a menys de 30 km dels serveis de radar d'un aeroport, deu comptar amb l'aprovació de l'autoritat aeronàutica.

### **26.15.1. Senyalització de dia**

El color blanc és el més efectiu. Els colors gris lleuger o blau es menys efectius per ser visibles pels pilots durant el dia.

Si es pinta la turbina amb pintura fosca cal incorporar-ne una llum de dia.

- Llum centellejant (flash) de color blanc d'alta intensitat, molt visible encara que el Sol estigui de cara a l'avió.
- Llum centellejant (flash) de color blanc de mitja intensitat.

### **26.15.2. Senyalització de nit**

Es necessari senyalitzar la turbina. Les llums més eficaces son flash vermella (L-864) o blanca (L-865). Les llums d'obstrucció deuen funcionar simultàniament i es deuen col·locar en el punt més alt possible per ser clarament visibles en tot l'horitzó (360°).

## **26.16. Gestió de residus**

La generació de residus va aparellada a qualsevol activitat. Una correcta gestió dels residus passa per:

- Minimitzar la seva generació.
- Reutilitzar, en origen quan sigui possible, el màxim de residus generats.
- Retirar, mitjançant gestors autoritzats, el residus que no es puguin reutilitzar.
- Portar un registre dels residus generats, i dels gestors que els retiren.

En la gestió de residus cal tenir en compte tot el procés d'instal·lació, servei, i eventual desballestament del parc.



### **26.16.1. Fase de muntatge**

En aquesta fase es produiran tota mena de residus:

- Restes vegetals (desbrossaments).
- Terres (eixamplament de camins, rases per a cables, excavacions, explanades,...) .
- Ferralla (encofrats, forjats per a formigó).
- Materials plàstics d'embolcalls.
- Paper, cartró d'embolcalls.

### **26.16.2. Fase de servei normal**

En aquesta fase es produiran residus relacionats amb el manteniment i/o reparació de les instal·lacions:

- Olis, greixos.
- Envasos plàstics i metàl·lics
- Productes químics de manteniment.
- Materials plàstics d'embolcalls.
- Paper, cartró d'embolcalls.

### **26.16.3. Fase de desballestament**

En aquesta fase s'ha de ser especialment curós en la recollida de tots els residus per tal de deixar el sòl en les condicions més semblants al terreny verge. A banda del material que es pugui reutilitzar, es produiran tota mena de residus:

- Restes vegetals (desbrossaments).
- Terres (eixamplament de camins, rases de cables, excavacions, explanades, etc).
- Ferralla (estructures metàl·liques).
- Materials plàstics d'embolcalls.
- Paper, cartró d'embolcalls.
- Olis, greixos.

- Envasos plàstics i metàl·lics.
- Productes químics de manteniment.

## 26.17. Emissions a l'atmosfera i estalvi de combustibles fòssils

La generació d'electricitat mitjançant aerogeneradors no implica cap procés de combustió, i per tant no hi ha emissió de gasos d'efecte hivernacle.

Però la generació d'electricitat a l'estat espanyol depèn d'altres tipus de generació, com es pot veure en la següent taula de la REE:

Tipus de central	Potència instal·lada ( % )	Cobertura de la demanda ( % )
Nuclear	10	22
Carbó	15	24
Fuel / gas	8	2
Cicle combinat	20	24
Eòlica	14	9
Hidràulica	23	11
Altres	10	8
Total:	100	100

**Taula 26.10. Distribució de la producció d'electricitat (2007)**

El percentatge de cobertura de la demanda varia constantment en funció de varis paràmetres, com per exemple:

- Disponibilitat tècnica de les centrals.
- Absència de vents.
- Nivells de reserva hidràulica.

Un estudi de Fecsa –Endesa sobre la emissió de gasos d'efecte hivernacle, xifra la reducció d'emissió de CO<sub>2</sub> en el mercat ibèric, al llarg del període 1990-2010:

- 1990 0,695 g CO<sub>2</sub> / kWh
- 2010 0,501 g CO<sub>2</sub> / kWh

### **26.17.1. Impacte social**

- Aspectes socials negatius

Es preveu un augment considerable de trànsit de camions pesats durant la fase de construcció ( i eventualment, de desmantellament), que assolirà nivells normals durant la fase d'exploació.

Alguns conreus poden veure minvada la seva producció, especialment durant la fase de muntatge (i desballestament), degut a la necessitat de plataformes de muntatge.

- Aspectes socials positius

Es preveu que el aerogenerador doni 3 llocs de treball directes, per a tasques de gestió i control, i 2 llocs de treball indirectes per a tasques de manteniment.

### **26.17.2. Mesures correctores**

- Instal·lacions

Per tal de minimitzar el impacte sobre el sòl i la vegetació, tots els cables aniran allotjats en rases excavades en els laterals de camins ja siguin existents o de nova factura.

- Aspecte visual

Es pintaran les torres i les pales amb un color blanc-gris per minimitzar el contrast amb el fons del cel.

- Fauna

Cal fer un estudi exhaustiu de les poblacions animals presents en el indret del aerogenerador, previ a la seva construcció. Durant les fases de construcció i servei normal es faran controls anuals de la població animal. No és convenient fer un tancat perimetral, per tal de no tallar els fluxos naturals amb els indrets limítrofs.

- Vegetació

Un cop acabada la fase de muntatge es procedirà a replantar els laterals dels camins amb espècies similars a les originals de cada zona. Si eventualment es desmantella el parc, caldrà reconstruir els camins originals, replantant allà on sigui necessari, amb espècies similars a les originals.

- Residus

La gestió del residus es farà d'acord amb el Decret 93/1999 sobre procediments de gestió de residus. Els residus valoritzables es classificaran i emmagatzemaran per separat, d'acord amb l'article 12.2 de la Llei 10/1998 de residus. S'instal·laran dipòsits soterrats de recollida d'olis al costat de cada aerogenerador, en previsió de fuites.

Els materials de manteniment (olis, greixos, productes químics) es guardaran en un local pavimentat, sota cobert, amb un sistema de recollida de vessaments. El temps màxim d'emmagatzematge serà de 6 mesos.

Està previst que un 25% de les terres extretes en excavacions es puguin tornar a reubicar en el parc. Caldrà emmagatzemar-les en un lloc controlat.

### **26.17.3. Conclusions generals**

- Del anteriorment descrit es desprèn que el indret previst, al municipi de Vilobí del Penedès, és apte per acollir dita activitat.
- El impacte sonor és pràcticament nul, almenys des del punt de vista dels nuclis habitats.
- Un únic aerogenerador, fa que la probabilitat d'impactes amb aus sigui molt baixa.
- Per tant, en aquest estudi es considera que el impacte medi ambiental és globalment acceptable.

**DOCUMENT N°9:**  
**SEGURETAT I SALUT EN EL TREBALL**

## **27. Seguretat i salut en el treball**

### **27.1. Introducció**

Aquest document de seguretat i salut en el treball té com a objectiu definir els riscos derivats de les operacions i tasques necessàries per a l'execució dels treballs descrits en aquest projecte de construcció, així com els derivats dels treballs de reparació, conservació i manteniment, i de les mesures de precaució i prevenció mínimes a considerar per a evitar o atenuar el més possible les conseqüències d'accidents i/o malalties professionals que poguessin ocasionar-se durant l'execució.

### **27.2. Característiques de les obres a realitzar**

L'obra a realitzar per la qual es redacta aquest projecte consisteix en la construcció d'una micro-planta eòlica en el terme municipal de Font Rubí comarca de l'Alt Penedès. El projecte de construcció de la micro-planta consta bàsicament de les següents tasques:

- Construcció de camins d'accés.
- Excavacions, explanacions, obertura de rases i terraplenats en terrenys fonamentalment de consistència dura.
- Construcció de dipòsits, murs de contenció i fonamentacions de formigó armat, per a la sustentació del aerogenerador.
- Construcció de subestació, per als equips de generació d'energia elèctrica.
- Muntatge del aerogenerador.
- Muntatge de la infraestructura elèctrica.
- Muntatge del sistema elèctrica que compon la subestació.

#### **27.2.1. Interferències i serveis afectats**

Es considera que existeix la possibilitat d'interferència entre els vehicles necessaris per a la realització de l'obra i la circulació normal per la carretera.

#### **27.2.2. Maquinària i mitjans auxiliars**

Es preveu l'ocupació de, com a mínim, la següent maquinària i mitjans auxiliars:

- Pales carregadores.
- Retroexcavadora.
- Camió basculant de transport.
- Camió amb grua per a auto descàrrega.
- Camió formigonera.
- Camió-bomba per a formigonat.
- Vibrador de formigó.
- Radial.

- Bastides.
- Escales de mà.
- Compressor.
- Martells destrossadors autopropulsats i manuals.
- Grup de soldadura i bufador.
- Grua.
- Eines d'alta i baixa tensió.

### 27.2.3. Riscos derivats de les tasques

A continuació s'indiquen els riscos que es podrien produir durant l'execució de les obres, degut a la utilització de la maquinària i mitjos auxiliars necessaris per a l'execució de les mateixes:

- Riscos professionals.

Es consideren com a tal els derivats dels treballs necessaris per a la realització de les obres, independentment de la seva naturalesa i origen, i que puguin ser oferts pel personal de l'obra durant el termini d'execució dels treballs. Es preveu que els més freqüents seran:

- Caigudes del personal.
- Caigudes de material, eines i/o elements constructius.
- Enfonsaments per inestabilitat dels elements constructius o del terreny.
- Esfondraments del terreny.
- Xocs i/o bolcades de vehicles.
- Atropellaments del personal.
- Talls, cops i enganxades produïdes per maquinàries, eines, materials, etc.
- Sobre esforços del personal.
- Explosions.
- Incendis.
- Lesions cutànies, auditives, oculars, electrocucions, cremades, etc.

- Risc de danys a tercers.

Atès que no es permetrà el pas a l'obra de persones alienes a la mateixa, no es preveu que es produeixin accidents que afectin a terceres persones i als seus béns tret que es produeixin per elements de l'obra amb abast exterior, com els vehicles de transport. Per tant, es considera que existeixen els següents riscos a tercers:

- Atropellaments.
- Col·lisions de vehicles i/o bolcades.

### 27.3. Aplicació de la seguretat i prevenció dels riscos

A continuació s'indiquen les mesures mínimes a considerar per a assolir i mantenir un nivell de seguretat òptim durant l'execució de les obres, de manera que s'evitin o atenuïn els efectes dels riscos en el treball.

### 27.3.1. Proteccions individuals

- Casc homologat per a totes les persones de l'obra.
- Ulleres protectores anti-pols i anti-impactes.
- Màscara.
- Botes de seguretat homologades per cada classe de treball.
- Protectors auditius.
- Cinturons de seguretat específics de cada treball.
- Comprovadors de corrent.
- Guants de cuir i anti-talls.
- Guants de goma per a ofici de paleta i treballs amb formigó.
- Guants dielèctrics.
- Granotes de treball adequats.

### 27.3.2. Proteccions i mesures de seguretat col·lectives

- Tancament de les zones on s'executin els treballs.
- Tancament i senyalització de les zones on s'efectuïn buidats.
- Marquesina de protecció de caigudes d'objectes.
- Senyalització:
  - a. D'entrada i sortida de vehicles.
  - b. De perill en les proximitats de l'obra.
  - c. De prohibició del pas a persones alienes a l'obra.
  - d. Indicadora de risc elèctric.
  - e. Indicadora de caigudes a diferent nivell i de caiguda d'objectes.
  - f. Indicadora de perill d'incendi.
- Xarxes de seguretat.
- Baranes de protecció de 1m d'alçada en vores a diferent nivell i escales.
- Cables i punts d'ancoratge per a cinturons de seguretat.
- Posada a terra d'instal·lacions elèctriques.
- Senyalització acústica per a la marxa enrere en retroexcavadora, camions, etc.
- Indicacions de zona de seguretat per al moviment de la maquinària pesada amb prohibició de romandre en el radi d'acció.
- Rampes d'accés uniformes i amb un pendent inferior al 20%.
- Prohibició de transportar persones en vehicles o en parts no aptes per tal objectiu.
- Velocitat de desplaçament de vehicles limitada a 20km/h.
- Bastides amb estabilitat horitzontal i vertical assegurada.
- Escales de mà amb sabates antilliscaments per la part inferior.
- Prohibició de romandre en la zona d'elevació de càrregues per mitjans mecànics, la qual es realitzarà evitant que passin per sobre del personal.
- Emmagatzematge dels materials d'obra en llocs adequats, secs, protegits de la intempèrie i ordenats. Els materials peril·losos s'emmagatzemaran en llocs exclusius i clarament indicats per això.
- Prohibició de treballar en zones amb alçada quan la velocitat del vent sigui superior a 50km/h.



- Tota persona que manipuli conductors i equips elèctrics haurà de dur posats guants i botes aïllants.
- S'impartirà formació en matèria de seguretat i higiene en el treball al personal d'obra.
- Es disposarà de serveis sanitaris suficients i completament dotats per al nombre de treballadors en activitat simultània.

Es ressalta que la millor protecció de riscos, tant professionals com a tercers, és la correcta utilització d'equips, materials i eines així com l'execució de qualsevol tipus de treball per part de personal conscient i especialitzat en la seva labor professional.

## **27.4. Primers auxilis**

La companyia mantindrà un nombre adequat de personal de primers auxilis per a tractar accidents menors i emergències en el lloc de treball. Aquest personal tindrà la formació i la qualificació suficient d'acord amb els requeriments estatutaris. El personal certificat de primers auxilis serà identificat en la instal·lació.

## **27.5. Procediments d'emergència**

Els procediments en cas d'emergència estan dissenyats per a donar avís de perill imminent i per a permetre al personal traslladar-se a un lloc de seguretat. Cada director/supervisor és responsable d'assegurar que tots els empleats i visitants a l'àrea de responsabilitat són informats o estan completament familiaritzats amb els procediments d'emergència.

La formació en procediments d'emergència forma part de la conscienciació en temes de seguretat. Per a refrescar els coneixements es proporcionaran cursos de formació quan siguin necessaris. Quan sigui necessari, es designarà un responsable anti-incendis per a ajudar en les evacuacions. Allà on estiguin designats, se'ls donaran les instruccions i la formació adequada per a assegurar la seva efectivitat.

## **27.6. Regles i Normes**

El pla de Seguretat i Salut compleix amb les següents normes.

### **27.6.1. Requeriments de l'Equip de Protecció Individual (EPI)**

- Calçat de seguretat: Dintre de l'emplaçament, tot el personal haurà d'utilitzar el calçat de seguretat.
- Casc de protecció: Dintre de l'emplaçament, tot el personal haurà d'utilitzar el casc de protecció, excepte quan s'estigui dintre del Centre de Transformació, dintre del vehicle d'assistència o bé en l'interior de la gòndola.
- Arnès de seguretat: Tot el personal haurà d'utilitzar l'arnès de seguretat per a pujar al aerogenerador, i per a realitzar qualsevol tasca prop de la vora de la gòndola.

- Guants de protecció: Equip convencional.
- Protecció de l'oïda: Equip convencional.
- Equips de primers auxilis: Tots els vehicles d'assistència, així com el CT, haurien d'estar equipats amb un equip de primers auxilis.
- Extintor: En cas que l'aerogenerador no es disposi d'un extintor, tots els vehicles d'assistència haurien d'estar equipats amb un. En qualsevol cas, el CT haurà d'estar proveït d'extintors.
- Dispositiu de descens: En cas que el aerogenerador no disposi d'un dispositiu de descens, a l'emplaçament haurà d'haver almenys un equip de descens per als casos d'emergència.
- Estació de neteja ocular: El CT haurà d'estar proveït d'una estació de neteja ocular, i segons la grandària de l'emplaçament, els vehicles d'assistència haurien de disposar també d'aquest equip.

## 27.6.2. Treballs a grans alçades

### 27.6.2.1 Treballs a l'aerogenerador

Les normes referides a la torre de l'aerogenerador són aplicables des de l'instant que s'obre la porta d'accés a la base de la torre, fins que aquesta es tanca, una vegada finalitzada la feina. Per a eliminar qualsevol dubte, aquest treball també inclou la utilització de la torre com a via d'accés a la gòndola.

Únicament haurà de treballar a la torre el personal autoritzat.

Dues persones haurien d'estar sempre presents quan s'estigui pujant per la torre.

Queda terminantment prohibit pujar a la torre amb velocitats de vent superiors a 20m/s.

Abans de pujar a la torre, haurien de situar-se al costat de la ruta d'accés dos senyals portàtils amb les indicacions "Mantenir la ruta totalment lliure" – "Personal treballant a dalt".

Haurà d'utilitzar-se el calçat de seguretat, el casc de protecció i l'arnès de seguretat mentre s'estigui dintre de la torre. Es recomana utilitzar també els guants per a pujar per l'escala.

Abans de pujar a la torre, s'han d'encendre les llums d'aquesta i de la gòndola. En cas que alguna de les llums no funcioni correctament, s'haurà de proposar l'ascensió a la torre fins que s'hagin adoptat les mesures correctores necessàries.

Durant l'ascensió a la torre s'haurà de realitzar una inspecció visual de l'estat de l'escala, dels pernys de fixació, de les plataformes i de les anses adherides de possible defectes evidents. En cas de detectar-se algun problema, haurien de realitzar-se immediatament les reparacions pertinents.

Durant l'ascens, les petites eines o qualsevol altre component solt s'han de dur dintre d'una caixa o dintre d'una bossa lligada a la persona que ascendeix, com per exemple a l'arnès de seguretat. Les peces que no estiguin soltes poden dur-se en les butxaques. Els elements més pesats han de transportar-se mitjançant la grua de la gòndola, i no per la persona que puja per l'escala.

Cada secció de l'escala, solament pot ser ocupada al mateix temps per una sola persona. L'altra persona no ha de romandre just sota l'escala quan la primera està pujant per ella.

Una vegada s'hagi pujat a la torre, haurà de realitzar-se una inspecció visual de l'extrem superior de l'escala per a detectar qualsevol defecte.

#### *27.6.2.2. Treballs en la gòndola*

Les portes de la gòndola no han d'obrir-se amb velocitats de vent superiors a 20m/s.

Quan es treballi a l'exterior de la gòndola, la qual cosa inclou estrènyer bé els pernys de les pales, totes les eines haurien d'estar subjectades correctament a l'arnès de seguretat del treballador o bé en algun dels punts adequats de l'estructura de la gòndola.

El sistema de bloqueig manual o el cargol de bloqueig del disc de fre ha d'utilitzar-se per a impedir, quan sigui necessari, el gir del rotor.

#### **27.6.3. Operació manual**

L'operació manual ha de realitzar-se únicament quan no quedi cap altra alternativa. En cas que l'operació manual fos necessària, han de seguir-se les següents pautes:

És la càrrega massa pesada, poc manejable, difícil d'agafar o poc estable per a una sola persona. En cas afirmatiu, s'haurà d'eleva la càrrega entre dues persones.

Si no pot ser, és preferible haver d'estirar o empènyer la càrrega a haver d'aixecar-la, ja que es pot controlar molt millor.

Utilitzar el calçat de seguretat per a protegir els peus. On sigui possible, utilitzar els guants per a protegir les mans d'arestes afilades.

És important disposar d'un bon accés que permeti una correcta elevació. Comprovar, també, que no hi hagi res que pugui obstruir el camí pel qual es transportaran els elements.

Si pot ser la càrrega ha de ser elevada entre el muscle i el maluc. Evitar girar el cos mentre s'estigui aixecant o transportant l'objecte.

Si l'objecte ha de ser aixecat des d'una alçada per sota dels malucs, és preferible doblegar les cames quan es procedeixi a aixecar-lo. L'objecte s'ha de dur tan a prop del cos com sigui possible.

#### **27.6.4. Elevació mecànica**

Sempre que sigui possible, s'ha d'utilitzar l'assistència mecànica en les operacions d'elevació.

Ha d'emprar-se la grua de la gòndola per a pujar les eines i l'equip necessari. Abans d'utilitzar aquesta grua, cal que el rotor estigui bloquejat.

Abans de realitzar una ascensió amb la grua de la gòndola, ha de comprovar-se que tot l'equip d'ascensió està certificat, per exemple la grua o el carretó elevador. En l'equip d'elevació ha d'estar indicada la seva càrrega màxima admissible per a garantir la seguretat del treball.

El muntatge ha de realitzar-se únicament per un muntador qualificat. Aquest muntador serà responsable de determinar els pesos dels objectes a aixecar i escollir l'equip d'elevació adequat.

Planificar l'operació d'elevació i cerciorar-se de que tot el personal involucrat en l'operació ho ha entès tot.

Situar tanques sota les càrregues suspeses per a evitar que el personal pugui passar per sota d'aquesta.

Establir i mantenir una bona comunicació amb tot el personal involucrat en les operacions.

El personal que estigui fora del camp visual de la resta de l'equip (per exemple un operador de grua i un treballador situat en la gòndola) haurien de mantenir contacte via walky-talky o telèfon per a dirigir les operacions.

#### **27.6.5. Treballs que requereixen dues persones**

Sota condicions normals, hi ha d'haver sempre dues persones treballant juntes quan es realitzi alguna tasca. (Únicament, sota circumstàncies perfectament definides es permet treballar solament: consultar en els procediments per al treball segur, els casos especificats que es permet treballar solament).

- Assegurar-se que, per a cada tasca a realitzar en l'emplaçament en la qual es requereixin dues persones, els membres de l'equip no queden aïllats l'un de l'altre durant la seva realització.
- En cas que, per qualsevol motiu, un dels membres de l'equip hagi d'abandonar el treball, la resta de tasques haurien de detenir-se també.
- En cap cas un membre de l'equip podrà abandonar el lloc de treball sense abans informar el seu company..
- En cas que l'equip no pot establir contacte auditiu entre els seus membres, haurà d'utilitzar-se el walky-talky o en el seu lloc el telèfon mòbil. Comprovar, abans de començar els treballs, que les bateries dels telèfons o dels walky-talkys estan totalment carregades.

### 27.6.6. Treballs que requereixen una sola persona

En circumstàncies perfectament definides, en el quals no s'hagi de realitzar cap treball elèctric, pot ser que tan solament sigui necessari un membre del personal de servei per a realitzar les tasques. En cas de treballar solament, han de contemplar-se les següents observacions:

Només és permès al personal autoritzat treballar sol.

La persona que treballi en solitari haurà de mantenir constantment contacte amb la base, mitjançant un telèfon mòbil o un walky-talky. Comprovar que la bateria del telèfon o del walky-talky està completament carregada, abans de sortir a realitzar els treballs.

La persona que treballi en solitari i la persona que romangui a la base han de posar-se d'acord respecte als procediments d'emergència, abans que el primer surti a realitzar els treballs.

Quan abandoni la base per a realitzar els treballs i quan hi torni al haver finalitzat les tasques, haurà de, en ambdós casos, notificar-se'l a la persona que romangui en la base.

La persona que treballi en solitari i la persona que romangui en la base han de posar-se d'acord respecte a realitzar els contactes en intervals regulars de temps. En cas que la persona que treballa sol no estableixi contacte dintre dels intervals preestablerts, la persona que romangui a baix haurà d'engegar el procediment d'emergència preestablert i posteriorment sortir a la recerca del primer.

### 27.6.7. Treballs elèctrics de seguretat

#### 27.6.7.1 General

Únicament els electricistes autoritzats empleats per la Companyia, o els contractistes elèctrics estan autoritzats a realitzar inspeccions, comprovacions i reparacions de les instal·lacions elèctriques i dels equips. En tot moment estaran presents dues persones quan es treballi amb l'equip de mesura de la tensió.

#### 27.6.7.2 Alta Tensió

Per al present manual, es considera com alta tensió les tensions superiors als 1000V, d'acord amb els estàndards internacionals.

Per a qualsevol treball d'alta tensió s'haurà de disposar de l'autorització corresponent. Quan es treballi en els equips d'alta tensió haurien d'estar sempre presents dues persones.

Abans de començar els treballs, l'equip per a treballs elèctrics ha de ser revisat per una persona qualificada. Ha de comprovar-se, abans de començar qualsevol treball, que per la línia en la qual es treballés, no hi hagi tensió, mitjançant l'equip reglamentari. Aquest equip haurà de ser revisat abans i després de realitzar la comprovació de la línia. L'equip ha de disposar de presa de terra.

El personal que realitza els treballs elèctrics ha de disposar de l'Equip de Protecció Individual adequat, en el qual s'inclou entre altres elements, els guants de goma, l'estora de goma i el calçat aïllat. El personal encarregat de realitzar els treballs elèctrics ha d'utilitzar eines aïllades.

### 27.6.7.3 Baixa Tensió

Per al present manual, es considera com baixa tensió les tensions inferiors als 1000V, d'acord amb els estàndards internacionals.

Normalment, no es precisa d'autorització per a realitzar els treballs en el circuit de baixa tensió, encara que en algun cas específic pot ser que sigui necessària.

Quan sigui possible, l'equip ha d'estar aïllat, abans de començar a treballar. Ha de comprovar-se, abans de començar qualsevol treball, que la línia en la qual es treballarà estigui sense tensió, mitjançant l'equip reglamentari. Aquest equip haurà de ser revisat abans i després de realitzar la comprovació de la línia.

El personal que realitza els treballs elèctrics ha de disposar de l'Equip de Protecció Individual adequat, en el qual s'inclou, entre altres elements, els guants de goma, l'estora de goma i el calçat aïllat. El personal encarregat de realitzar els treballs elèctrics ha d'utilitzar eines aïllades.

### 27.6.8. Treballs d'excavació

Únicament el personal qualificat pot realitzar els treballs d'excavació. El Supervisor de l'emplaçament ha d'estar informat de qualsevol treball d'excavació que es vagi a realitzar, per a facilitar la coordinació amb altres treballs que tinguin lloc als voltants.

Abans d'iniciar l'excavació han d'examinar-se molt bé els plànols de la zona per a detectar possibles cables subterranis, canonades, etc.

Serà necessària, a més, una autorització en cas que les excavacions tinguin lloc en les proximitats del cablejat subterrani.

### 27.6.9. Descàrregues elèctriques a l'aerogenerador a causa dels llamps

Durant una tempesta o fins i tot una hora després que hagi acabat, queda terminantment prohibit l'accés a l'interior o als voltants dels aerogeneradors.

### 27.6.10. Electricitat estàtica en les pales dels aerogeneradors

Les pales del aerogenerador poden generar energia estàtica durant el transport a l'emplaçament o en condicions atmosfèriques qualsevol. La descàrrega que pot produir-se al tocar les pales carregades amb energia estàtica és desagradable, encara que en cap cas perillosa.

## **27.7. Prevenció contra incendis**

Han de prendre's les precaucions necessàries per a evitar la creació d'un incendi arreu de l'emplaçament, fins i tot en el aerogenerador i en el Centre de Transformació.

No utilitzar sistema de calefacció, il·luminació o qualsevol receptor no reglamentaris.

No situar la roba o la vestimenta prop d'una font de calor.

No permetre que s'acumulin les escombraries generades ni els materials inflamables.

Prendre les mesures contra incendi quan es portin a terme els treballs en els quals s'arribin a temperatures elevades, i seguir les instruccions de seguretat específiques per a aquest tipus de treballs.

Tenir coneixement del funcionament dels extintors així com de la seva ubicació i distribució en l'emplaçament.

S'han de saber els procediments d'emergència en cas que es produeixi un incendi.

## **27.8. Als voltants i dintre del aerogenerador**

Per a entrar al aerogenerador, s'ha d'utilitzar com a mínim el casc de protecció i el calçat de seguretat. Quan el temps és fred, existeix la possibilitat que es desprenguin blocs de gel procedents de les pales. No s'ha d'acostar-se al aerogenerador quan estigui en operació si existeix la possibilitat que s'hagi format gel en les pales, com per exemple quan s'hagi produït una gelada.

Fixar la porta de l'aerogenerador de manera que es mantingui completament oberta, utilitzant el pany instal·lat, per evitar rebre un cop en cas que la porta es tanqués sobtadament.

## **27.9. Obertura de la porta de la gòndola**

El personal haurà de, com a mínim, utilitzar el calçat de seguretat i l'arnès de seguretat fixat en algun dels pernys de subjecció.

No s'ha d'obrir la porta de la gòndola quan la velocitat del vent superi els 20m/s.

## **27.10. Encendre l'aerogenerador**

Comprovar que no hi hagi ningú a la torre de l'aerogenerador, damunt de la base o a la gòndola. Arrencar l'aerogenerador mitjançant els controls de la seva base. Evitar engegar-lo si el temps és gelat, o en cas que sigui imprescindible, buidar els voltants del aerogenerador abans d'activar-lo per si es desprenen blocs de gel que s'hagin format a les pales.

## **27.11. Aïllament de l'aerogenerador o dels seus components**

Desconnectant l'interruptor principal es tallarà el subministrament d'energia de tot l'aerogenerador excepte del sistema de control, de la il·luminació dels punts d'energia i dels accionadors de la porta de la gòndola.

Prement el polsador d'aturada d'emergència, es tallarà el subministrament d'energia del sistema de control de l'aerogenerador.

Introduint el controlador a mode de servei (Service Mode) s'inhabilitarà el control de l'aerogenerador i únicament es permetrà realitzar operacions de servei a la gòndola.

## **27.12. Procediments en cas d'emergència**

### **27.12.1. Responsabilitats**

Supervisor de l'emplaçament: és el responsable de posar-se en contacte amb els serveis d'emergència en cas de situació d'emergència. Haurà d'especificar el lloc exacte i informar de la naturalesa dels fets que l'han causat. Pot delegar responsabilitat segons ho requereixin les circumstàncies.

Assistents de Primers Auxilis: els quals estan certificats en primers auxilis són els responsables d'atendre al ferit, si és que n'hi ha algun.

Responsable contra incendis: Coordina l'evacuació a un lloc més segur. Fa un recompte del personal i dels visitants que puguin haver a l'emplaçament. Facilita la informació del personal que falta als serveis d'emergència. S'assegura que les persones evacuades romanguin en una zona fora de perill.

### **27.12.2. Serveis d'emergència**

El Supervisor de l'Emplaçament haurà de mantenir als serveis d'emergència locals informats sobre la ubicació i la naturalesa del lloc, els punts d'accés al mateix, quin tipus de situacions poden donar-se i com han de tractar-se. El Supervisor haurà d'establir clarament amb cada servei com posar-se en contacte amb ells en cas d'emergència.



### 27.12.3. Procediments

- Incendi

Salt de l'alarma

Demandar ajuda: al Supervisor de l'Emplaçament, que ho comunicarà als serveis d'emergència o directament als serveis d'emergència.

L'interruptor principal de l'aerogenerador o de l'engranatge ha de ser desconnectat immediatament. Si això no és possible des de l'emplaçament, sol·licitar la interrupció de la connexió al Supervisor de la Xarxa Local.

Si l'incendi té lloc dintre del aerogenerador, s'haurà d'intentar apagar el foc amb l'extintor. Si l'incendi està fora de control, s'ha d'evacuar l'aerogenerador immediatament i establir una barrera perquè no hi entri ningú més.

Si l'incendi té lloc fora de l'aerogenerador, intentar extingir el foc si és possible, però sense córrer riscos personals. Utilitzar el dispositiu contra incendi adequat. No utilitzar mai aigua en incendis provocats per un fall elèctric o per una explosió d'oli/petroli. Utilitzar els extintors facilitats.

Si el foc s'estén, retrocedir immediatament, tancant totes les portes que tingui a la seva esquena.

Al escoltar l'alarma o rebre l'ordre del responsable contra incendis, tot el personal haurà d'evacuar immediatament l'emplaçament i dirigir-se a la sortida principal.

El Responsable contra incendis haurà de fer un recompte de tot el personal en l'emplaçament, incloent visitants. Aquesta informació haurà de ser proporcionada als serveis d'emergència immediatament. Ningú haurà d'entrar de nou a l'emplaçament fins que els serveis d'emergència concedeixin el permís.

- Llamps

En el cas d'una tempesta amb llamps a l'emplaçament, tot el personal haurà d'abandonar immediatament el mateix mitjançant vehicles.

No quedar-se al costat del aerogenerador.

No entrar en el Centre de Transformació.

Si el seu vehicle no està accessible i no està segur d'arribar a ell sense risc, estiri's en el sòl i encongeixi's, de manera que ocupi el menor volum possible fins que la tempesta passi.

Si es produeix un incendi com a conseqüència de l'impacte d'un llamp, s'han de seguir els procediments d'emergència en cas de foc.

No tornar a l'emplaçament fins que no estigui segur que la tempesta hagi passat o que es doni la instrucció pel supervisor de l'emplaçament.

No acostar-se a l'aerogenerador fins que hagi transcorregut una hora des que va cessar la tempesta. Fins i tot llavors, no acostar-se a l'aerogenerador si s'escolten renous prominents de les pales.

- Aerogenerador fora de control

En cas que l'aerogenerador es quedi fora de control, s'haurà d'evacuar i no aproximar-se a menys de 500 metres fins que torni a estar sota control.

- Primes auxilis

En cas d'alguna ferida, buscar l'ajuda del personal qualificat de primers auxilis. Cridar a una ambulància. Romandre al costat del ferit si és possible.

- Ruta d'escapament

S'utilitzarà com a ruta de fugida de l'aerogenerador l'escala interna.

Quan sigui aplicable, el personal rebrà formació necessària per a escapar externament de l'aerogenerador, des del moment de la seva incorporació.

- Evacuació

Per treure a un ferit que estigui incapacitat de la torre o gòndola, s'ha de baixar-lo externament o internament de la torre mitjançant una corda, o mitjançant el dispositiu de descens (si està instal·lat) lligat al seu arnès de seguretat. Totes les portes d'accés de la torre haurien d'estar obertes abans d'iniciar el descens.

- Informe

El Supervisor de l'Emplaçament informarà de tots els accidents al Comitè de Seguretat.

### **27.13. Informe**

Una situació d'emergència es produeix com a resultat de la culminació de situacions de perill i/o accidents. És de gran importància que la causa de la situació es determini i es prenguin les mesures per a evitar qualsevol situació d'emergència de la mateixa naturalesa.

Per tant, és molt important que es realitzi un informe d'accident o d'una situació de perill tan aviat com sigui possible, després que el succés tingui lloc, i on sigui aplicable prendre mesures per a reduir el risc perquè no es produeixi altra vegada el mateix incident.

Una situació d'emergència haurà de ser investigada, i s'informarà d'ella de la mateixa manera que s'informa d'una situació de perill, seguint el procediment establert per a un accident.

**DOCUMENT N°10:**  
**SIMULACIONS MODEL MITJANÇANT SIMULINK**

## 28. Model de simulació

La utilització del model de Simulink creat, ve de la necessitat de crear un sistema de simulacions que aproximin a la realitat el funcionament correcte d'un aerogenerador que subministra energia a la xarxa de distribució. Aquestes simulacions anteriorment mencionades son confrontades per un sistema d'un aerogenerador de una potència 30 kW, un generador asíncron de la mateixa potència que l'aerogenerador i a una tensió de 400V.

Una entrada de vent provoca el moviment de les pales de la turbina eòlica, aquest vent provoca una energia cinètica que es transforma en energia mecànica, generant un parell mecànic que s'aplica al rotor de la màquina asíncrona. Aquesta genera un velocitat al rotor que es realimentada directament a la turbina, formant un llaç tancat o bucle.

Els dos elements anteriorment mencionats, els englobaríem com a "Esquema general", aquest bloc es connecta a una xarxa de distribució d'energia mitjançant un transformador elevador de 0.4kV/25kV, d'una potencia de 50KVA, aquest transformador implementa una línia de 1050 metres de longitud.

Seguidament és pot observar que al final d'aquesta línia la instal·lació està connectada a la xarxa de la companyia distribuïdora, en aquest cas és la línia "El coll de la Barraca" FECSA-ENDESA.

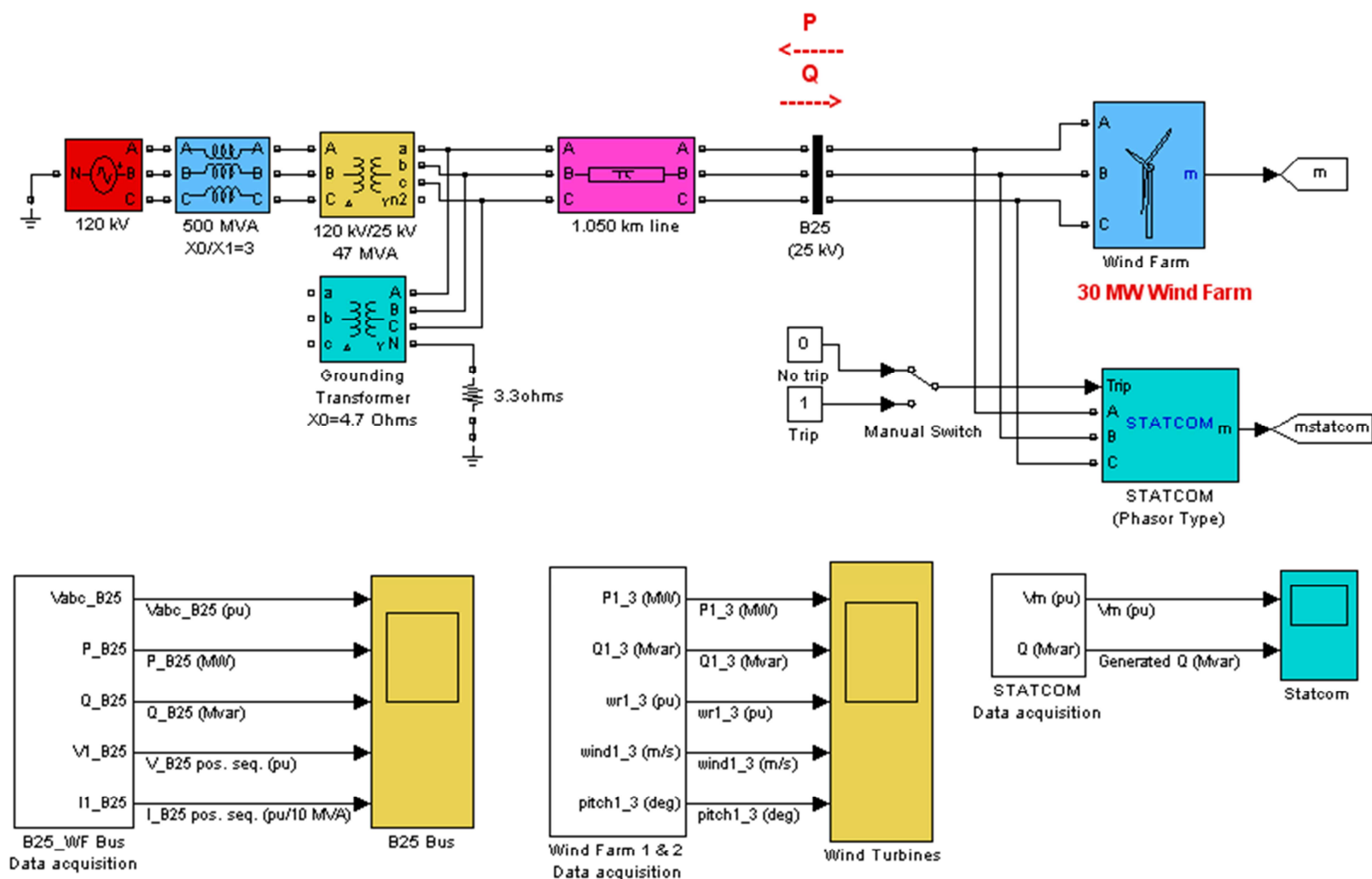


Figura 28.1. Esquema de modelització mitjançant Simulink

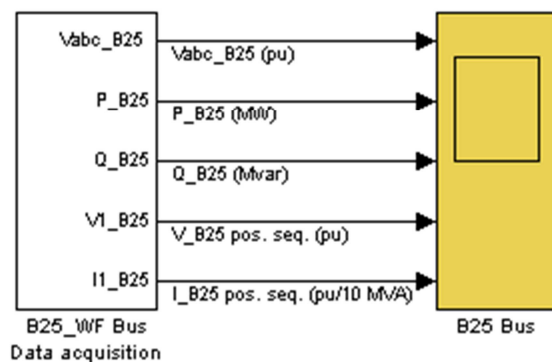


Figura 28.2. Esquema general simulació

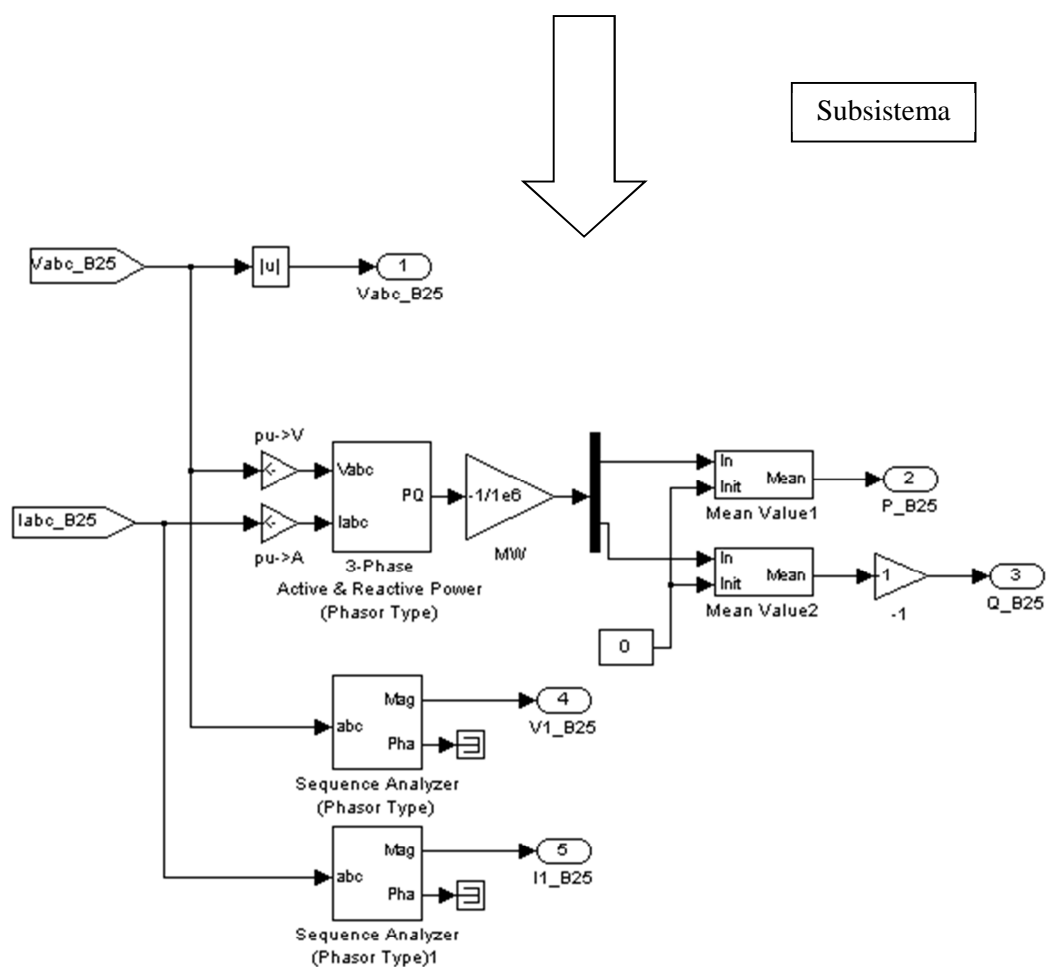


Figura 28.3. Detall subsistema

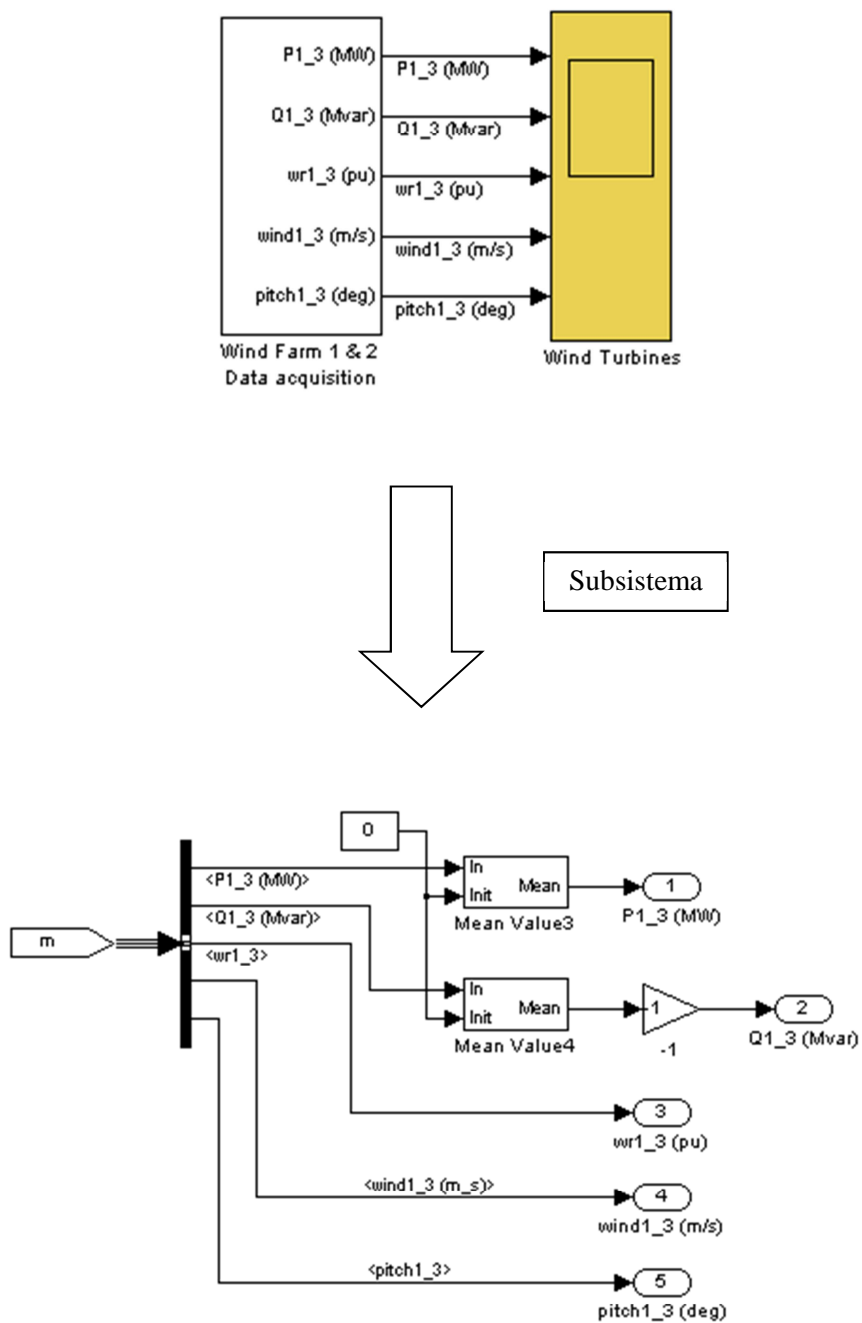


Figura 28.4. Detall subsistema II

## 28.1. Elements de la simulació

### 28.1.1. Maquina síncrona

En aquest cas s'ha agafat un bloc de intern de Simulink, donat la seva complexitat a l'hora de fer el disseny. Seguidament, es pot observar que té com entrades, el parell mecànic i la xarxa de alimentació en aquest cas trifàsica a una tensió de 400V i una potència nominal de la màquina de 30kW.

La màquina asíncrona en el nostre model es la següent:

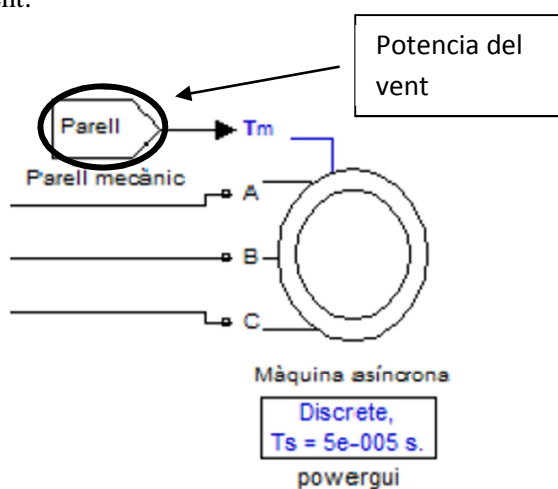
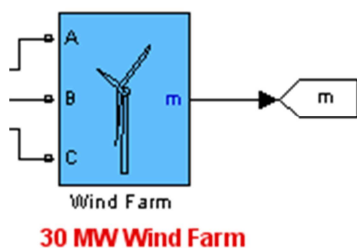


Figura 28.5. Representació Turbina

Figura 28.6. Maquina asíncrona

En el cas del generador, s'ha escollit com a sortida del bloc les variables de la velocitat del rotor i la corrent del rotor de la fase "a" en pu.

Aquestes sortides són seleccionades per que la velocitat nominal de la màquina és el paràmetre que s'utilitzarà per fer l'estabilització de la màquina amb la xarxa, donat que la màquina farà la connexió a la xarxa quan aquesta sigui igual a la unitat i la seva derivada sigui positiva. També influeix el corrent que es visualitza per tal de observar la intensitat d'arrencada de la màquina i veure el seu comportament durant tota la simulació.



## 28.1.2. Xarxa

Per fer possible la simulació de la turbina i les regulacions aplicades a la mateixa, s'ha dissenyat una xarxa elèctrica en Matlab/simulink el més realista possible per visualitzar les dades obtingudes.

### 28.1.2.1. Font de tensió interna

Es la font de tensió encarregada de dotar a la xarxa de l'energia necessària.

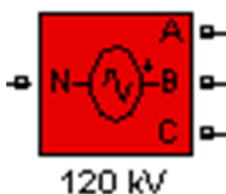


Figura 28.7. Font de tensió interna

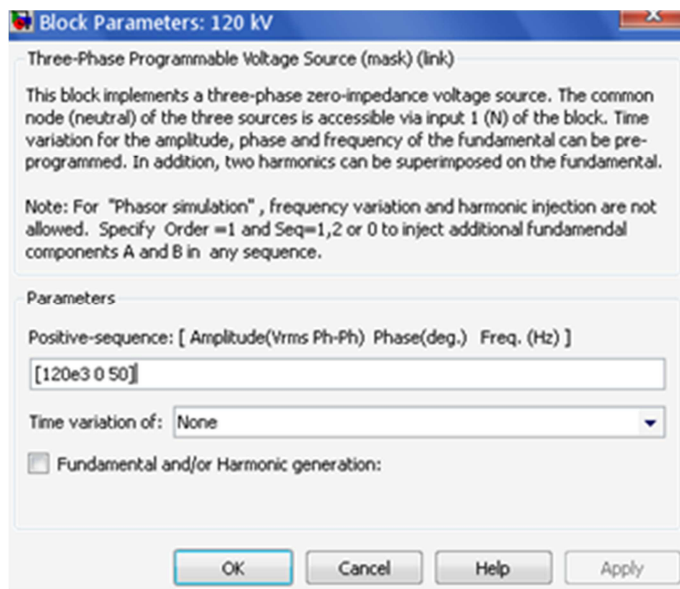


Figura 28.8. Detall de selecció de paràmetres

### 28.1.2.2. Bobinatge trifàsic

El Bobinatge trifàsic consta d'implementació d'impedàncies trifàsiques amb acoblament mutu entre les fases. Tant les pròpies impedàncies com les d'acoblament són reparades per paràmetres de seqüència zero d'entrada.

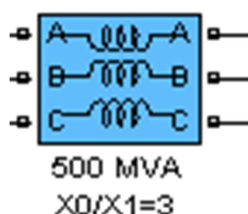


Figura 28.9. Bobinatge trifàsic

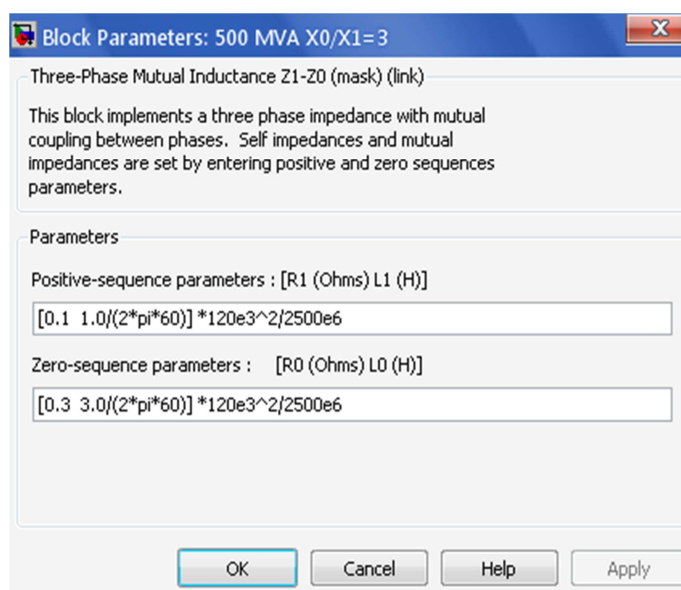


Figura 28.10. Detall de selecció de paràmetres

### 28.1.2.3 Transformador

El Transformador de 400V a 25kV: La tensió que prové de la font, 400V, és transformada a la tensió que alimenta la línia de xarxa, 25kV.

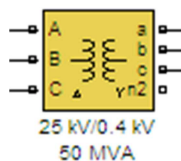


Figura 28.11. Transformador

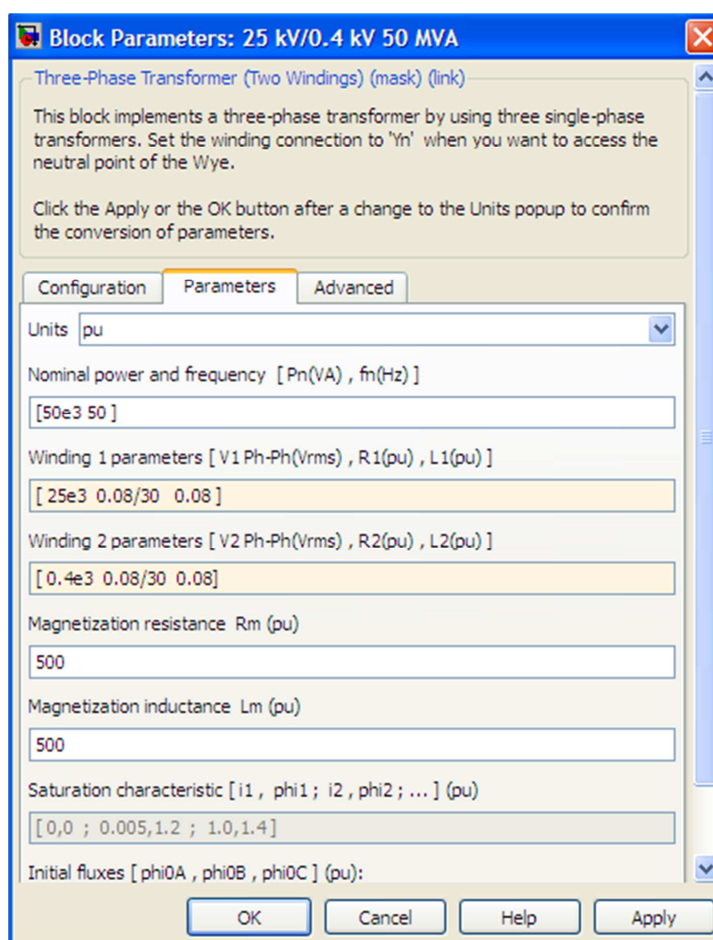


Figura 28.12. Detall de selecció de paràmetres

#### 28.1.2.4. Línia

Línies de 1,050 km i d' 0,1 km. El model de línia de transmissió trifàsica equilibrat. Solament és vàlid per simular línies de curta distància. L'avantatge que presenta és que es pot modelar que la resistència, la inductància i l'admitància es distribueixin uniformement al llarg de tota la línia.

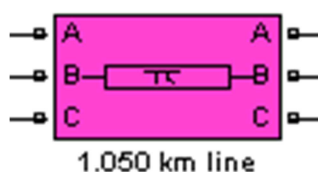


Figura 28.13. Línia

**Block Parameters: 1.050 km line**

Three-Phase PI Section Line (mask) (link)

This block models a three-phase transmission line with a single PI section. The model consists of one set of RL series elements connected between input and output terminals and two sets of shunt capacitances lumped at both ends of the line.

RLC elements are computed using hyperbolic corrections yielding an "exact" representation in positive- and zero-sequence at specified frequency only.

To obtain an extended frequency response, connect several PI section blocks in cascade or use a Distributed Parameter line.

**Parameters**

Frequency used for R L C specification (Hz) :

50

Positive- and zero-sequence resistances (Ohms/km) [ R1 R0 ] :

[0.1153 0.413]

Positive- and zero-sequence inductances (H/km) [ L1 L0 ] :

[1.05e-3 3.32e-3]

Positive- and zero-sequence capacitances (F/km) [ C1 C0 ] :

[11.33e-009 5.01e-009]

Line section length (km) :

1.05

OK Cancel Help Apply

Figura 28.14. Detall de selecció de paràmetres

### 28.1.2.5 Barra de mesura

La barra de mesura B1(25KV) es un element de connexió a la xarxa. S'utilitza per mesurar les tensions i els corrents de l'element al que es connecten, o les tensions i corrents existents entre els dos elements que es connecten. El valor de tensió que retorna es basa en la diferència de potencial de fase-aterra.

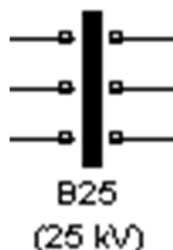


Figura 28.15. Barres de mesura

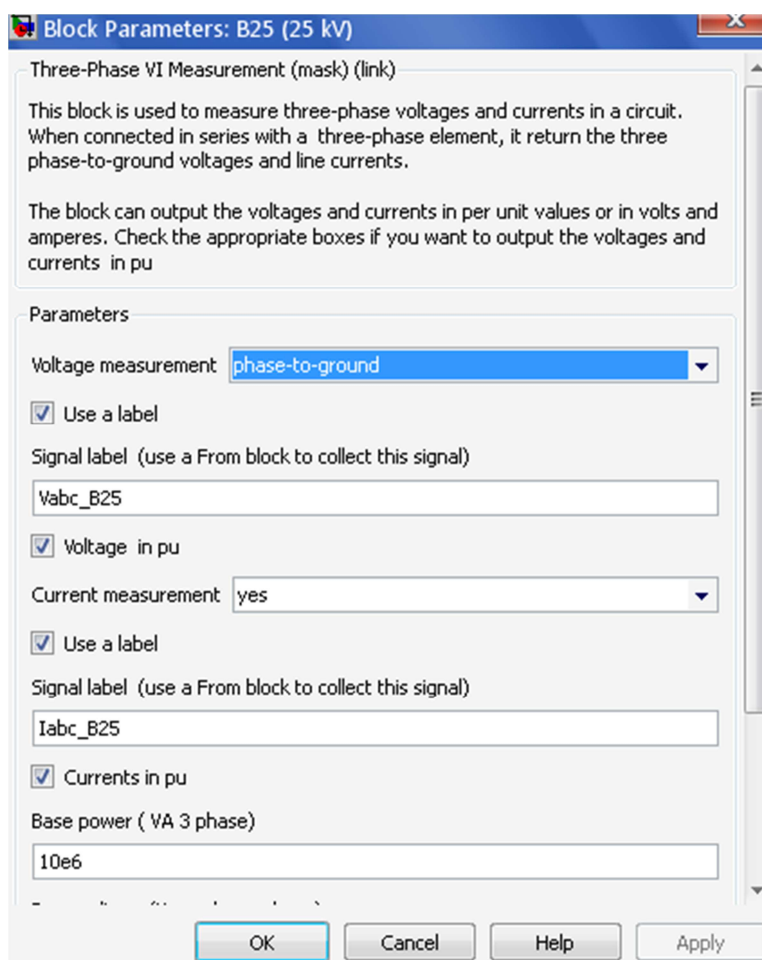


Figura 28.16. Detall de selecció de paràmetres

### 28.1.2.6 Tallador trifàsic

El Tallador trifàsic implementa un circuit de tres fases capaç de tancar i obrir el circuit en funció d'uns paràmetres escollits, ja sigui de manera temporal o per una acció externa per l'entrada COM.



**Figura 28.17.** Tallador trifàsic

## 28.2. Simulacions

S'han fet diferents esquemes del Simulink a mesura que em anat variant els paràmetres. Durant el desenvolupament dels esquemes, s'han fet simulacions per arribar a validar el model final. Ja que han estat moltes, es mostraran diverses imatges on s'explicaran les diverses simulacions realitzades.

### 28.2.1. Turbina eòlica

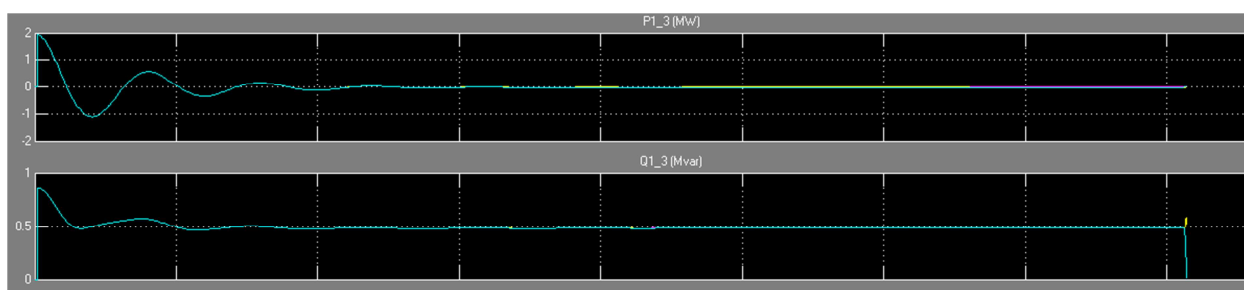


Figura 28.18. Captures de la potència activa i reactiva de la del generador

En la captura superior s'observa com la potencia reactiva absorbida per el generador es compensada en part per els bancs de condensadors connectats a cada barra de la turbina eòlica de baixa tensió. Aquesta bateria de condensadors esta calculada segons la relació de 400kvar per cada 3MW, per tant la bateria de condensadors esta calculada per 0,4 kvar.

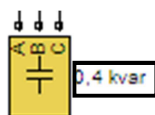


Figura 28.19. Bateria de condensadors

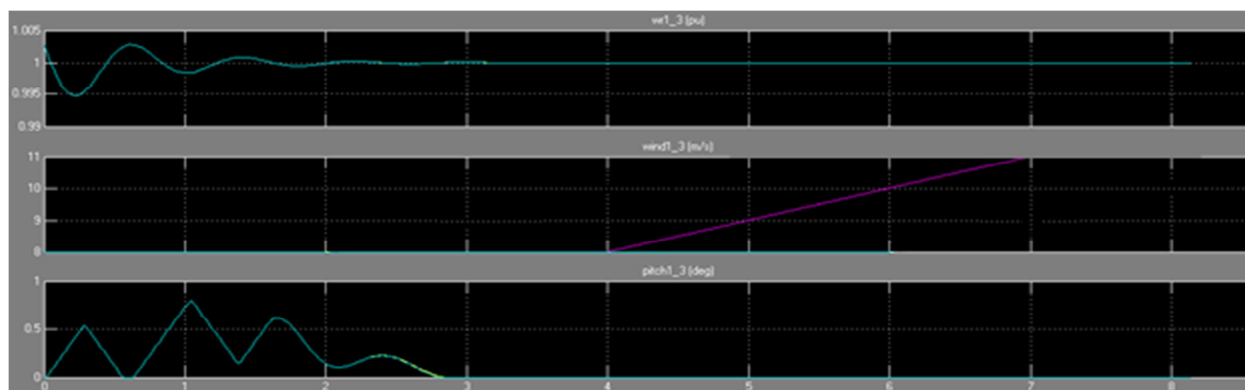
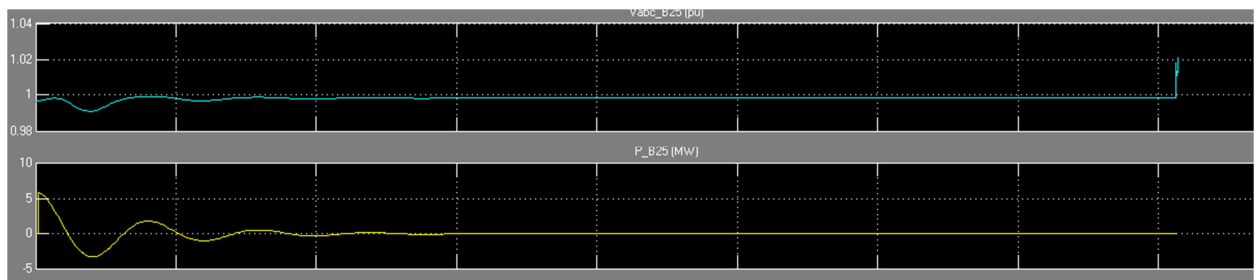


Figura 28.20. Captures de la tensió mitja i reactiva del generador

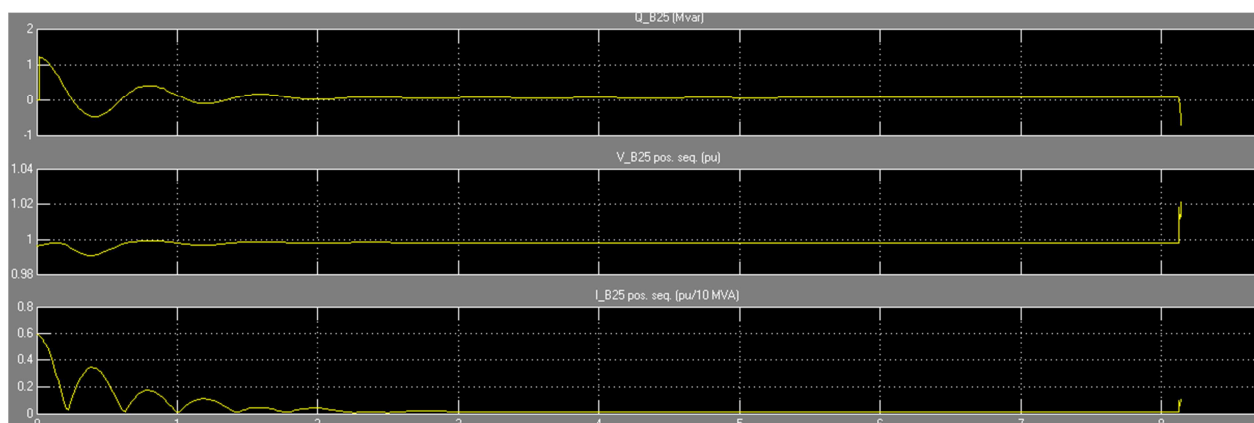
## 28.2.2 Barres B25

En aquesta simulació observem la tensió entre fases i la potència en barres.



**Figura 28.21. Captures de la tensió entre fases i la potència de Bus B25**

A la següent captura podem observar la potència reactiva, tensió i intensitat:

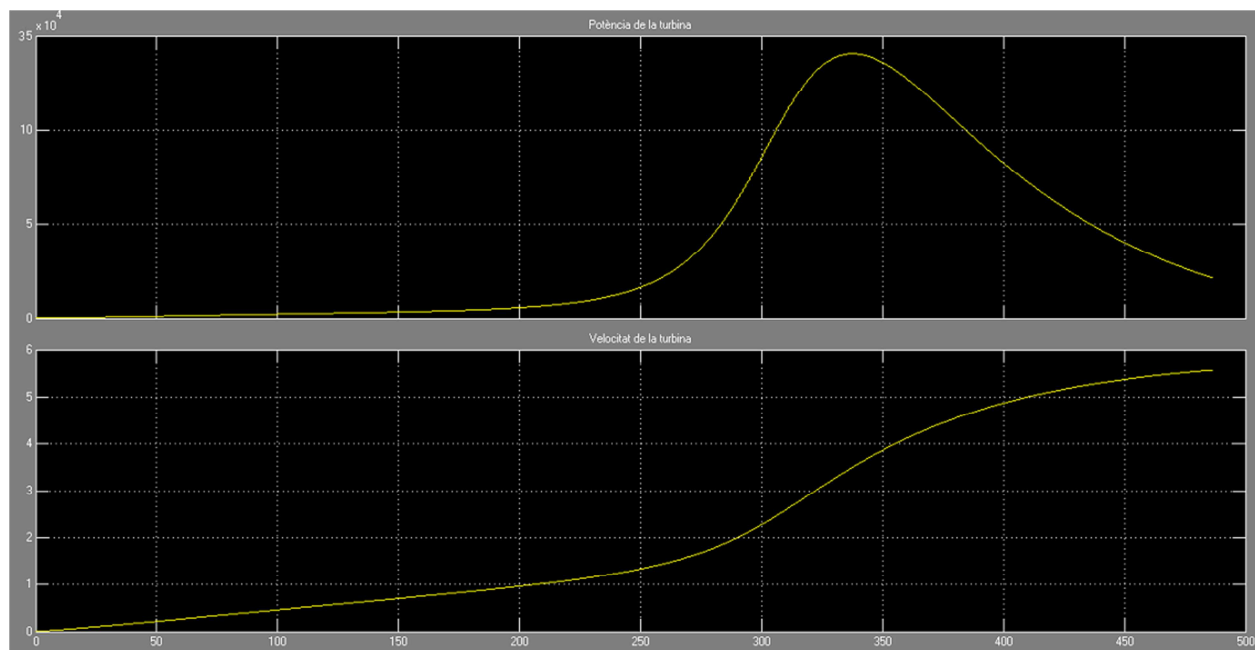


**Figura 28.22. Captures de la potència reactiva, tensió i intensitat de Bus B25**



### 28.2.3 Evolució de la turbina

A la següent simulació es pot observar l'evolució de la turbina en un funcionament sense càrrega, en el que te el perill de accelerar el rotor eòlic fins a produir-se la destrucció si no s'actua ràpidament amb els frens. La primera gràfica mostra la corba de potència sense control aplicant-li una angle de pitch de zero graus i una alta velocitat de vent de 25m/s.



**Figura 28.23. Captura de la potencia i velocitat de la turbina**

#### 28.2.4. Connexió a la xarxa

A la següent simulació es mostren una sèrie de gràfiques en les quals es veu com la instal·lació es connecta la xarxa sense cap condició, és a dir sense que la velocitat angular de la turbina estigui estabilitzada, ni comprovi que es la velocitat de sincronisme, ni que la freqüència sigui la adequada. També caldria que estigués pròxima a la nominal i que la derivada fos positiva perquè generés energia. Com és pot observar a la gràfica  $I_{abc}$  la màquina s'accelera de manera desmesurada al començament fins que arriba a 1.

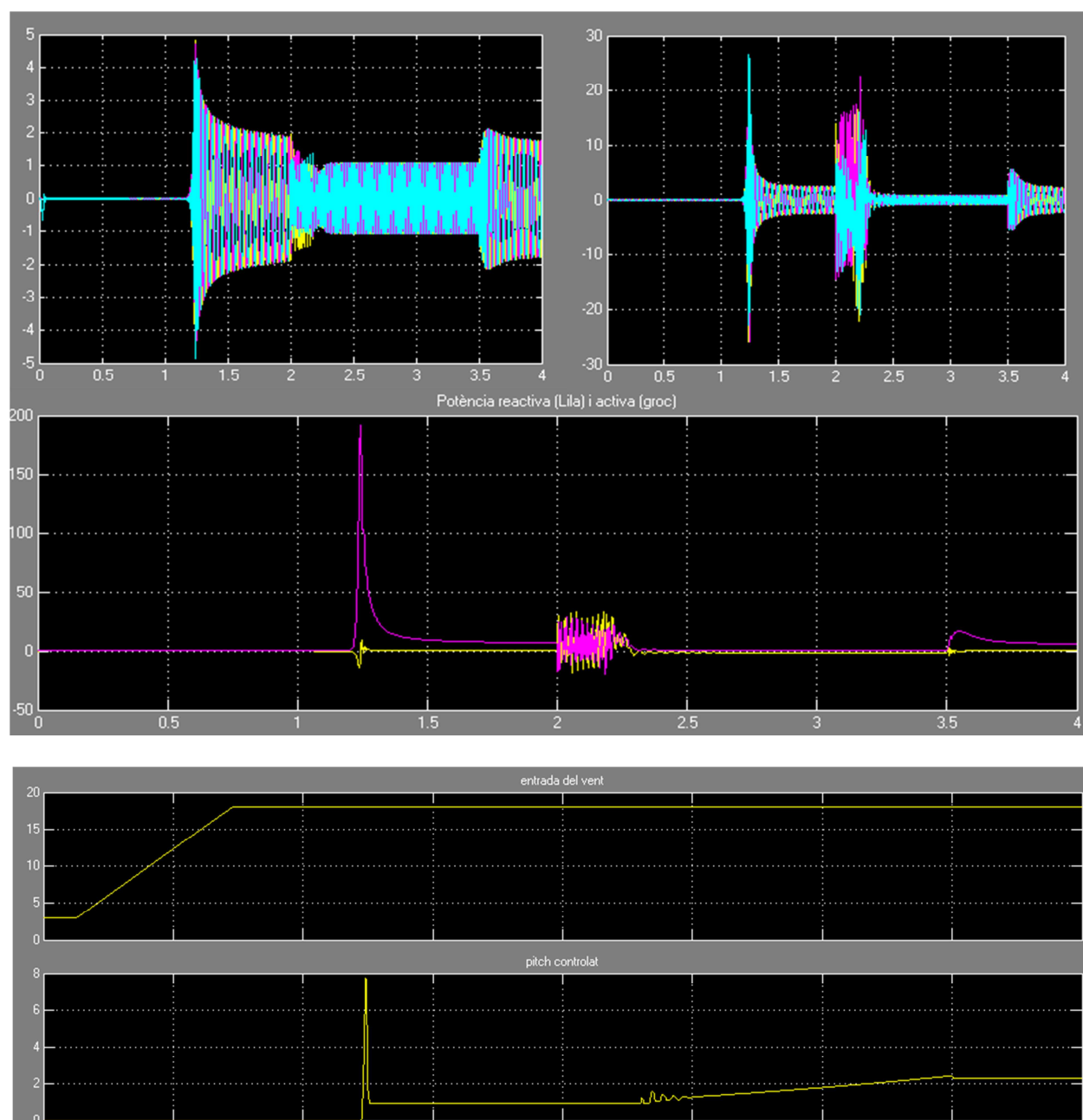


Figura 28.24. Captures de connexió a la xarxa

### 28.2.5. Sobre pic d'intensitat

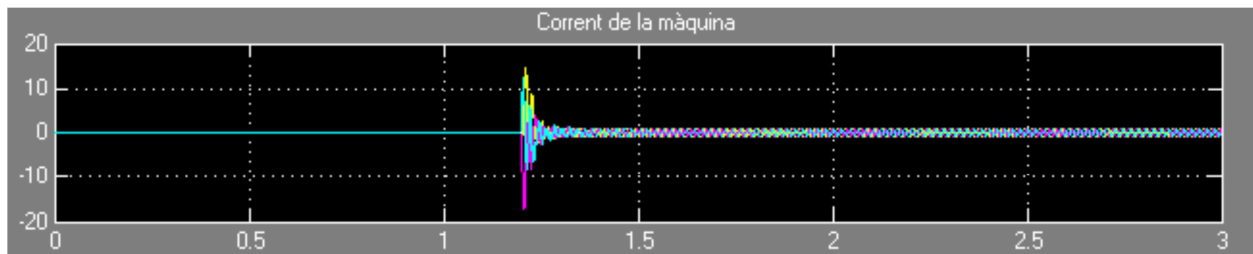


Figura 28.25. Captura sobre pic d'intensitat

En la captura, es pot observar, com la intensitat de la màquina arriba a 15, en valor pu. Degut a que la velocitat angular de la màquina,  $\omega_m$ , té un valor molt alt. Podríem dir, que això és un error, ja que la màquina síncrona pot tenir com a màxim un valor de 4 en pu, pel moment d'arrencada de la màquina.

### 28.2.6. Parell inestable

En aquesta simulació s'ha posat un filtre per fer un resposta del pitch més suau.

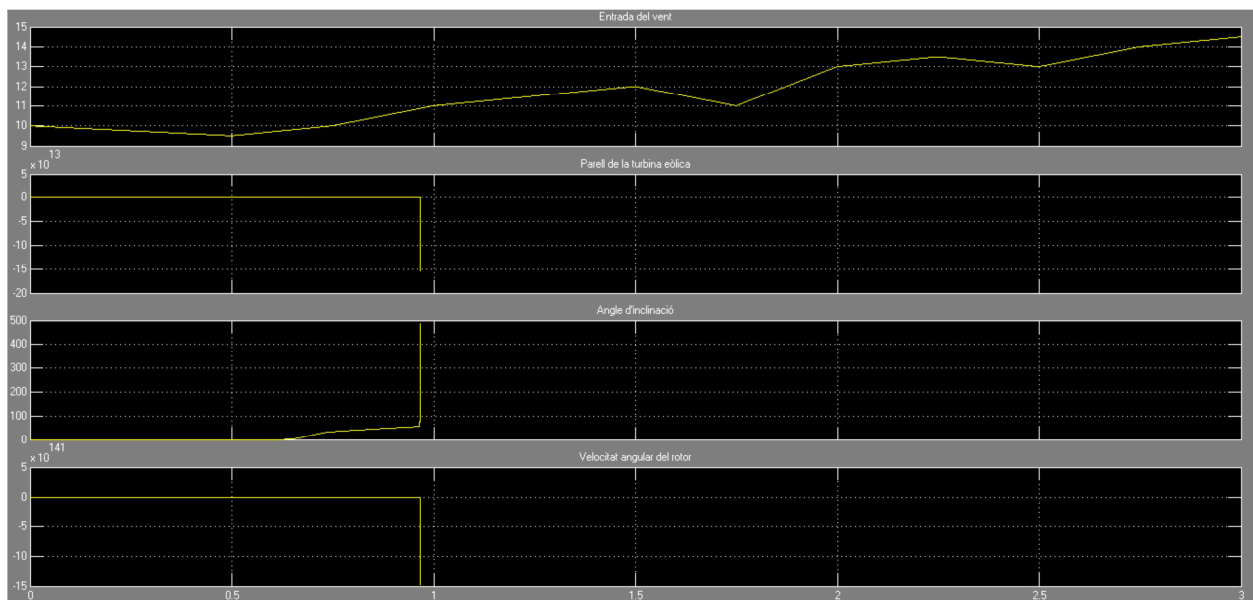


Figura 28.26. Captura sobre pic d'intensitat

### 28.3. Simulació resposta del Pitch

L'objectiu d'aquesta simulació es estudiar el comportament d'un aerogenerador mitjançant PI per la seva instal·lació en una micro-planta de generació eòlica.

En aquest estudi parametritzarem unes variables, tal i com poden ser el pitch i la velocitat del vent, per evaluar si aquest aerogenerador entrega potència a la xarxa o en canvi si el valor del vent no es òptim i en té que consumir.

Per portar a terme aquesta simulació hem utilitzat el programa Matlab el qual ens mostrarà el comportament del mateix.

En cas de que la velocitat del vent sigui molt elevada i tinguéssim que desconectar l'aerogenerador de la xarxa un PI ens detectaria aquest fet i el regularà augmentant el pitch, per tal de que el vent no toqui frontalment sino amb un angle, així doncs reduint l'impacte d'aquest sobre les pales del aerogenerador.

#### 28.3.1. Descripció PI

En el circuit del PI, hem utilitzat:

- ✓ 2 Sumadors
- ✓ 4 Displays
- ✓ 3 Mesuradors de senyal

#### 28.3.2. Funcionament

El valor de Potència Activa entra en un sumador de signe “-“, per altra banda tenim una constan de -1 que ens arriba al sumador amb un signe “+”.

Ex:  $-(-1,211)+(-1)= 0,211$  p.u.

Aquest valor correspon al semicicle negatiu de la senyal, es per això que el modifiquem en valor absolut i introduim el seu valor en un altre sumador, amb signe “+”, per altra banda del sumador introduim aquest mateix valor.

Ex:  $+|0,211| + 0,211 = 0,422$  p.u.

En aquest resultat obtingut ja tindriem l'ona completa el semicicle negatiu convertit en positiu i sumat el positiu, aquest valor en p.u. es el que entrarem en el nostre PI, que previament en tingut que ajustar els seus valors de  $k_p$  i  $k_i$ .

### 28.3.3. Llegenda

- P: Potència activa generada o absorvida per l'aereogenerador
- Q: Potència reactiva generada o entregada per l'aereogenerador
- Display 6: Valor en graus del pitch
- Display 5: Valor en p.u. a la sortida del segon sumador o inserida en el PI
- Display 4: Valor en p.u. a la sortida del primer sumador
- Kp/Ki: Valors de les constants Kp i Ki del PI

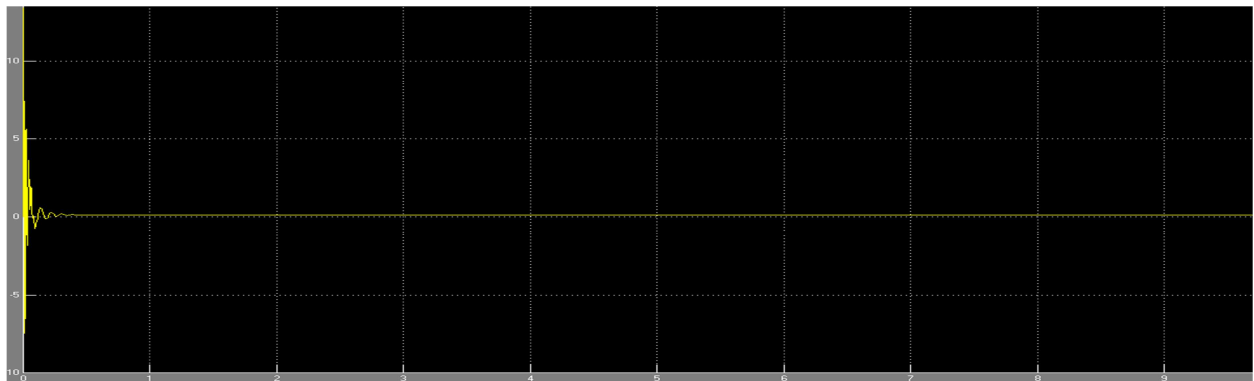
### 28.4. Taula valors simulacions i gràfiques

VELOCITAT VENT 5 m/s					
P (p.u.)	Q (p.u.)	Display-6 (°)	Display-5 (p.u.)	Display-4 (p.u.)	Kp/Ki
0,1226	1,648	0,3969	0	-1,123	2/5
VELOCITAT VENT 10 m/s					
P (p.u.)	Q (p.u.)	Display-6 (°)	Display-5 (p.u.)	Display-4 (p.u.)	Kp/Ki
-0,5007	1,708	0,4465	0	-0,4993	2/5
VELOCITAT VENT 15 m/s					
P (p.u.)	Q (p.u.)	Display-6 (°)	Display-5 (p.u.)	Display-4 (p.u.)	Kp/Ki
-1	1,793	1,315	3,084e-006	1,542e-006	2/5
VELOCITAT VENT 20 m/s					
P (p.u.)	Q (p.u.)	Display-6 (°)	Display-5 (p.u.)	Display-4 (p.u.)	Kp/Ki
-1	1,813	20,78	0,1887	0,09437	2/5
VELOCITAT VENT 25 m/s					
P (p.u.)	Q (p.u.)	Display-6 (°)	Display-5 (p.u.)	Display-4 (p.u.)	Kp/Ki
-1,012	1,796	30,85	0,02303	0,01152	2/5
VELOCITAT VENT 30 m/s					
P (p.u.)	Q (p.u.)	Display-6 (°)	Display-5 (p.u.)	Display-4 (p.u.)	Kp/Ki
-1,003	1,794	35,72	0,006401	0,003201	2/5

Taula 28.1. Simulacions de vent a diferents velocitats

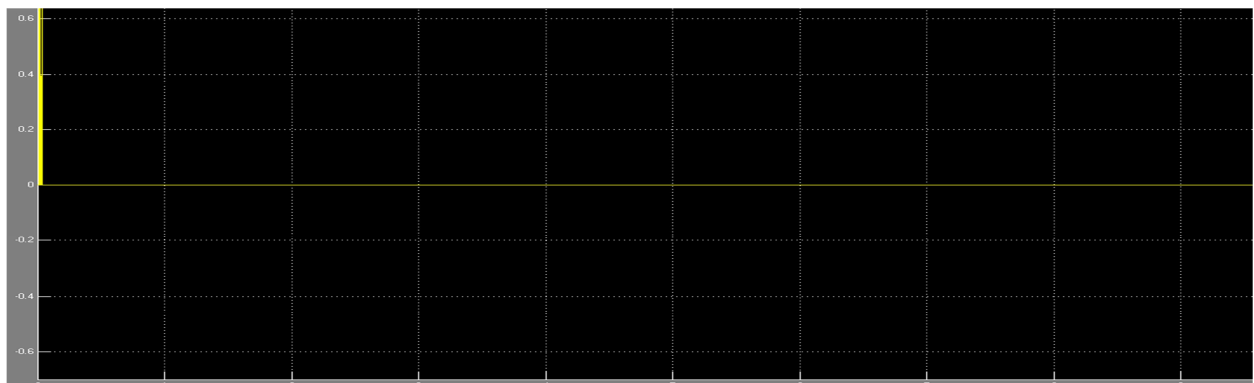
**Velocitat = 5 m/s**

**Gràfica P:**



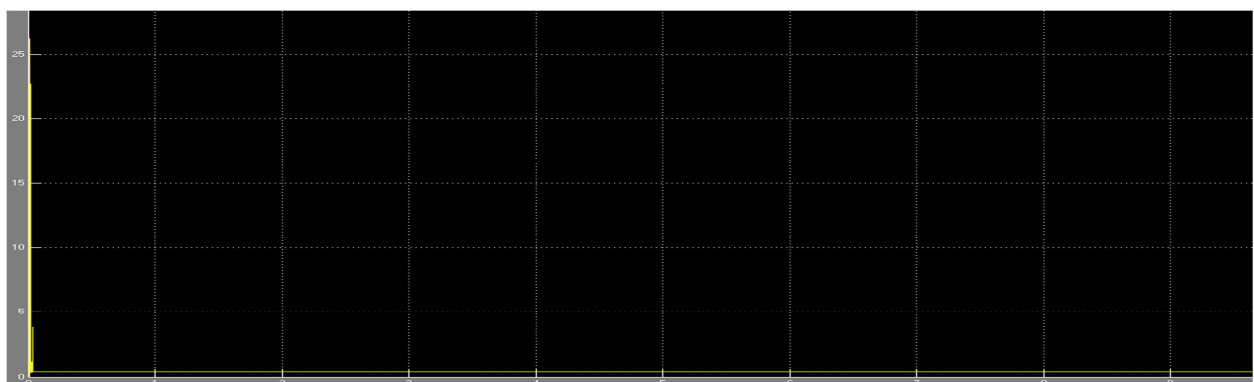
**Figura 28.27. Captura velocitat 5m/s**

**Gràfica entrada PI:**



**Figura 28.28. Captura velocitat 5m/s**

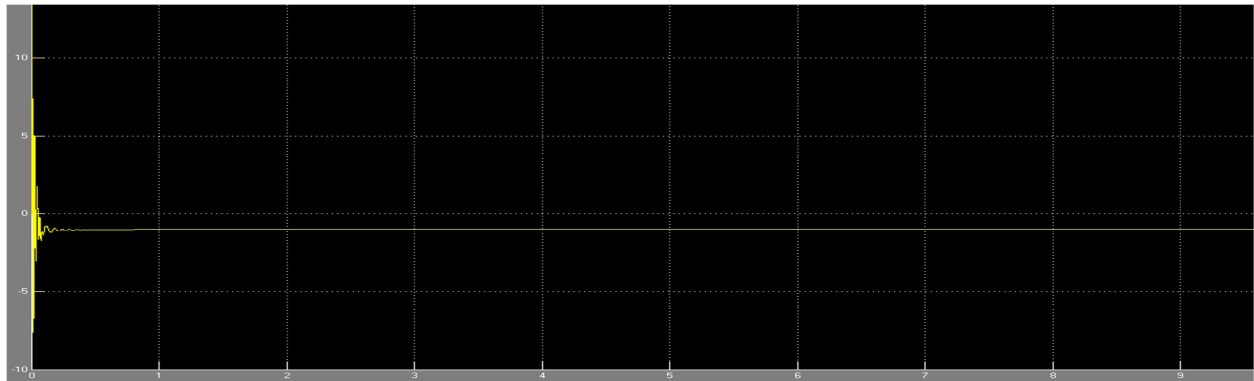
**Gràfica sortida PI:**



**Figura 28.29. Captura velocitat 5m/s**

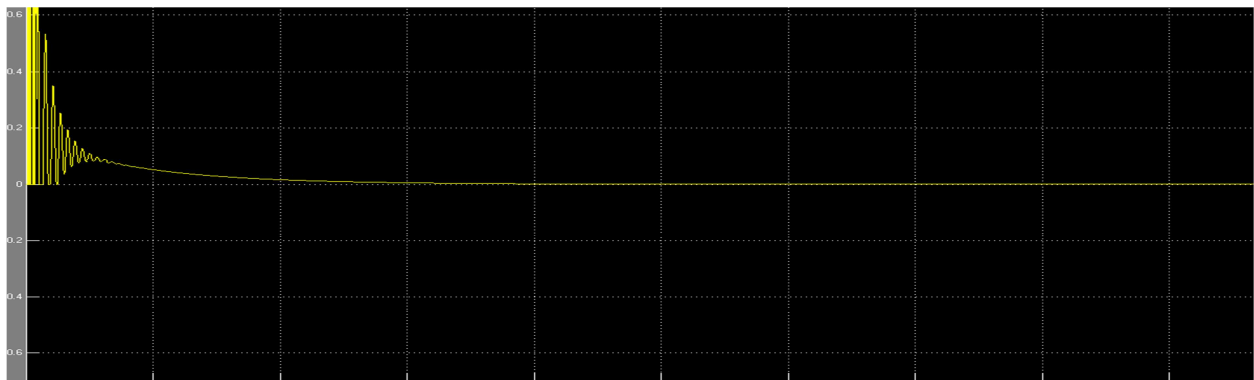
**Velocitat = 15 m/s**

**Gràfica P:**



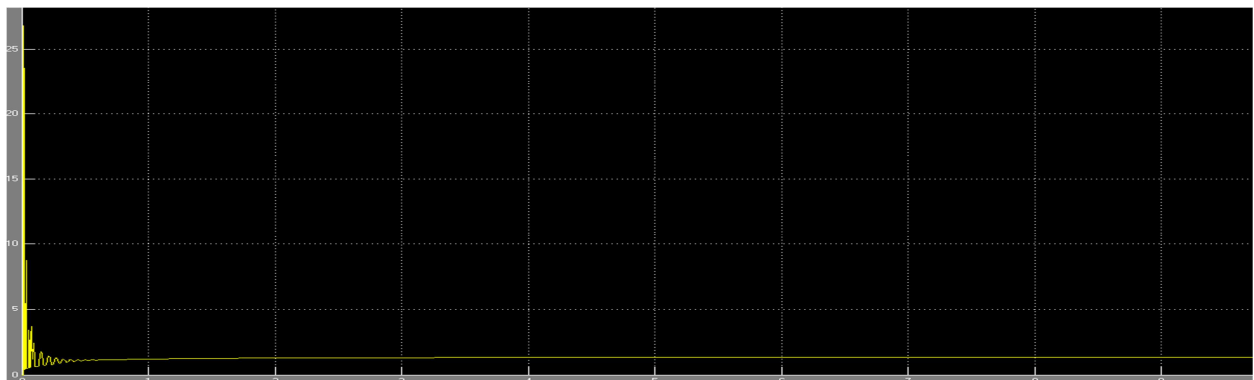
**Figura 28.30. Captura velocitat 15m/s**

**Gràfica entrada PI:**



**Figura 28.31. Captura velocitat 15m/s**

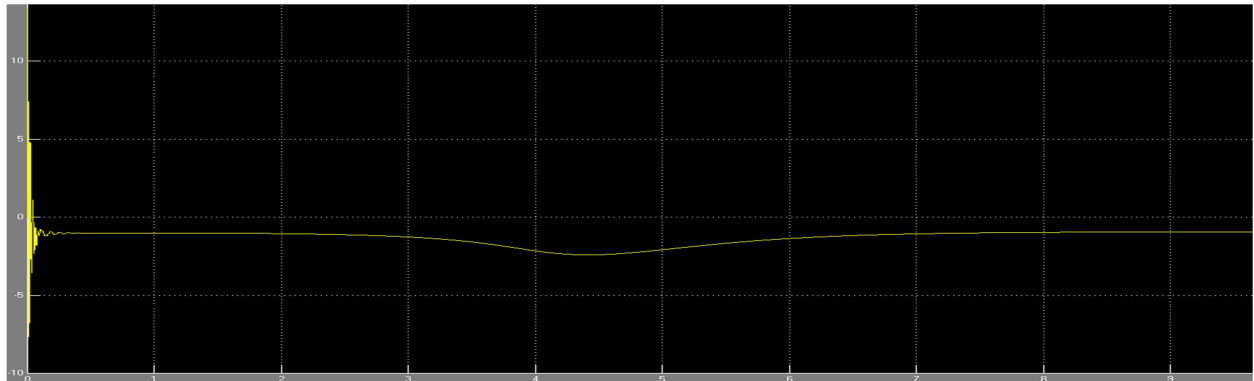
**Gràfica sortida PI:**



**Figura 28.32. Captura velocitat 15m/s**

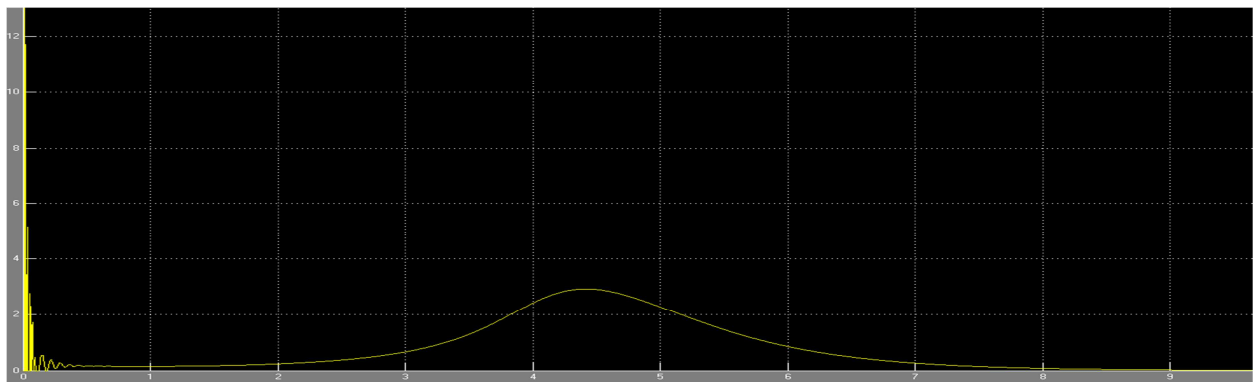
**Velocitat = 30 m/s**

**Gràfica P:**



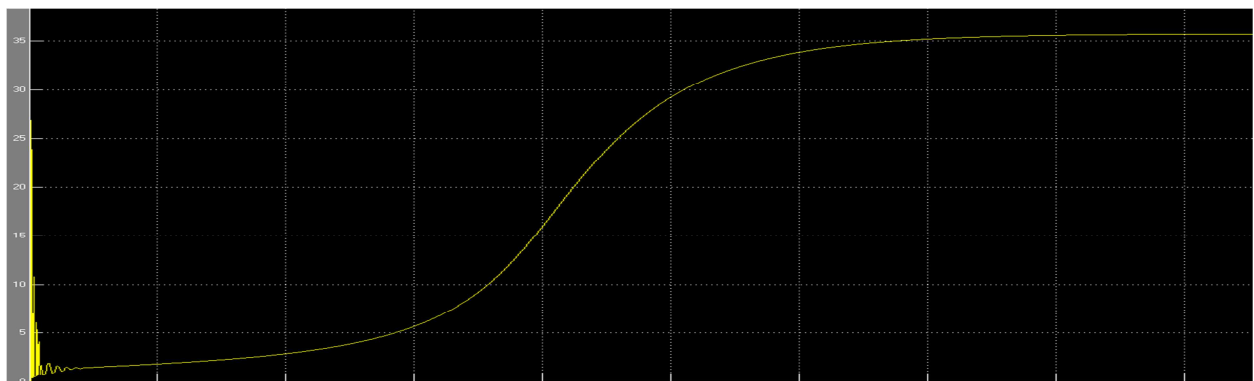
**Figura 28.33. Captura velocitat 30m/s**

**Gràfica entrada PI:**



**Figura 28.34. Captura velocitat 30m/s**

**Gràfica sortida PI:**



**Figura 28.35. Captura velocitat 30m/s**

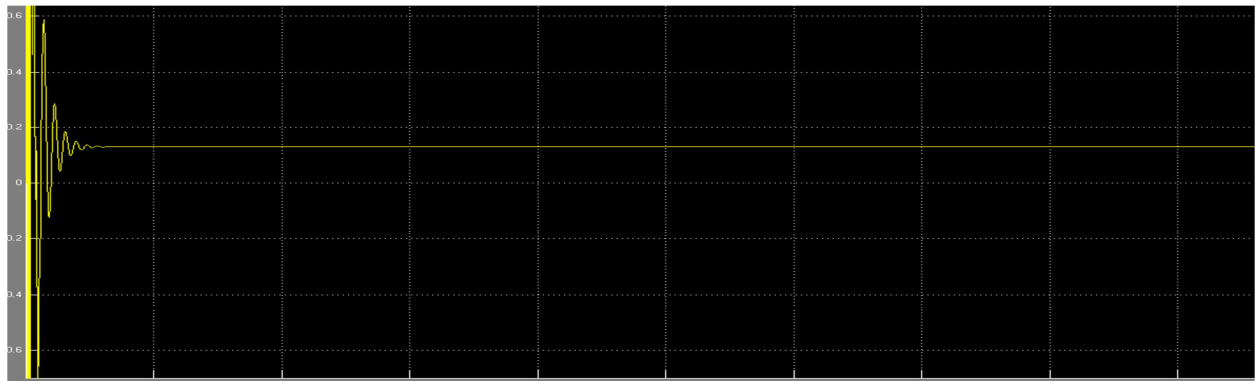


VELOCITAT VENT 5 m/s					
P (p.u.) 0,1312	Q (p.u.) 1,648	Display-6 (°) 0,0797	Display-5 (p.u.) 0	Display-4 (p.u.) -1,131	Kp/Ki 1/1
VELOCITAT VENT 10 m/s					
P (p.u.) -0,5107	Q (p.u.) 1,709	Display-6 (°) 0,08976	Display-5 (p.u.) 0	Display-4 (p.u.) -0,4893	Kp/Ki 1/1
VELOCITAT VENT 15 m/s					
P (p.u.) -1,008	Q (p.u.) 1,795	Display-6 (°) 1,275	Display-5 (p.u.) 0,01536	Display-4 (p.u.) 0,007679	Kp/Ki 1/1
VELOCITAT VENT 20 m/s					
P (p.u.) -1,131	Q (p.u.) 1,821	Display-6 (°) 3,369	Display-5 (p.u.) 0,2629	Display-4 (p.u.) 0,1315	Kp/Ki 1/1
VELOCITAT VENT 30 m/s					
P (p.u.) -1,088	Q (p.u.) 1,812	Display-6 (°) 2,283	Display-5 (p.u.) 0,1762	Display-4 (p.u.) 0,08811	Kp/Ki 1/1

Taula 28.2. Simulacions de vent a diferents velocitats

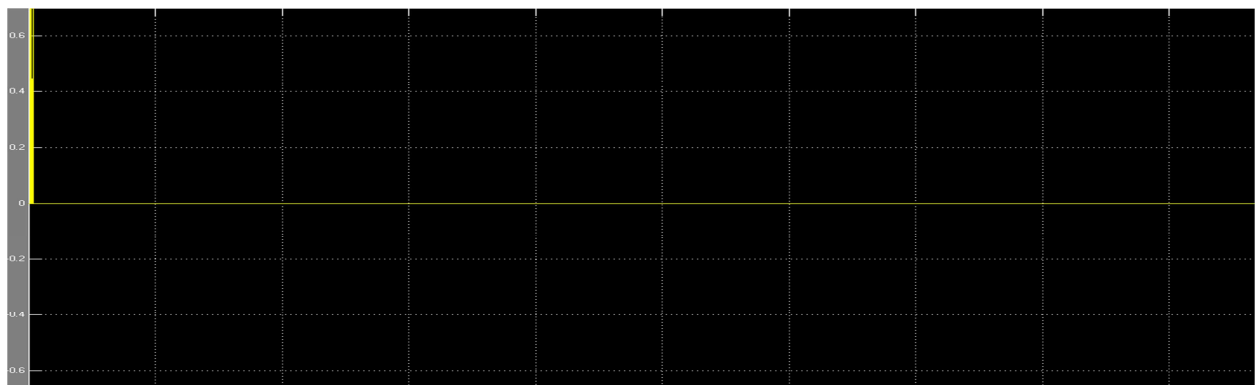
**Velocitat = 5 m/s**

**Gràfica P:**



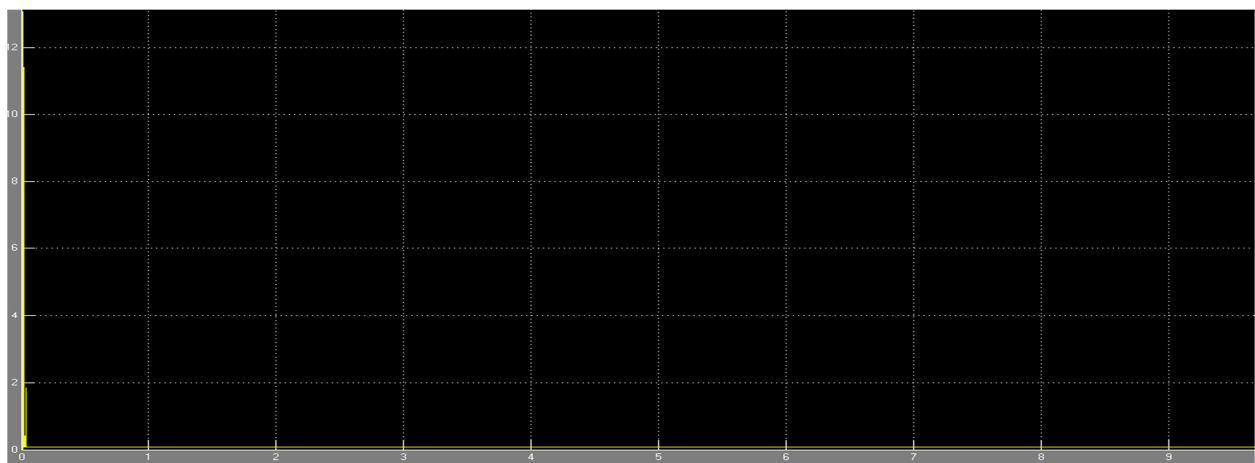
**Figura 28.36. Captura velocitat 5m/s**

**Gràfica entrada PI:**



**Figura 28.37. Captura velocitat 5m/s**

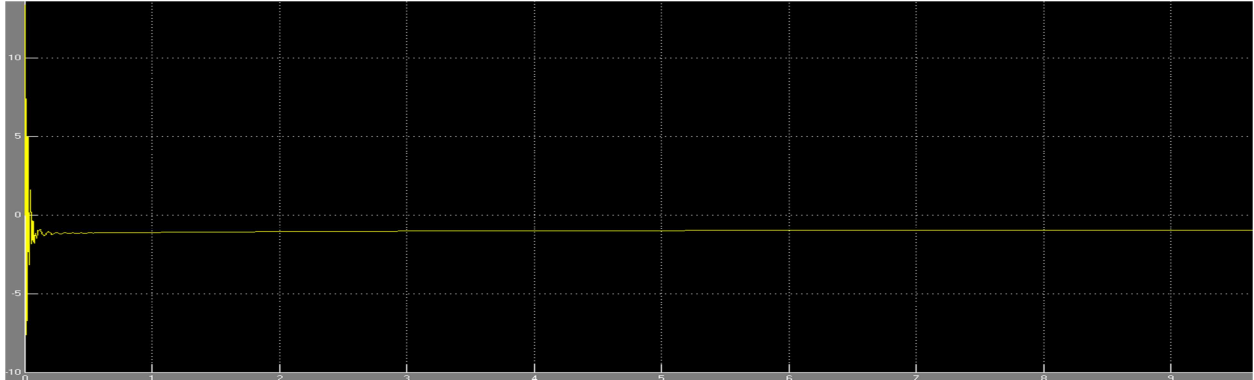
**Gràfica sortida PI:**



**Figura 28.38. Captura velocitat 5m/s**

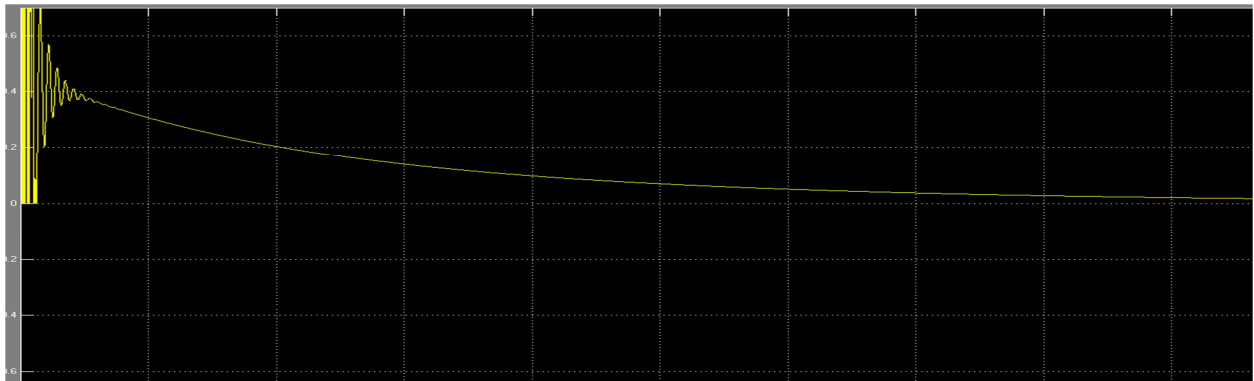
**Velocitat = 15 m/s**

**Gràfica P:**



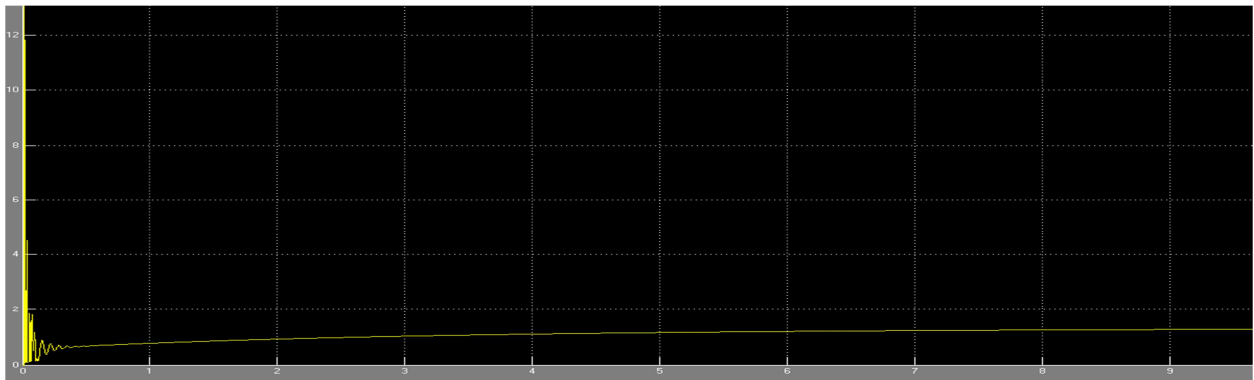
**Figura 28.39. Captura velocitat 15m/s**

**Gràfica entrada PI:**



**Figura 28.40. Captura velocitat 15m/s**

**Gràfica sortida PI:**



**Figura 28.41. Captura velocitat 15m/s**

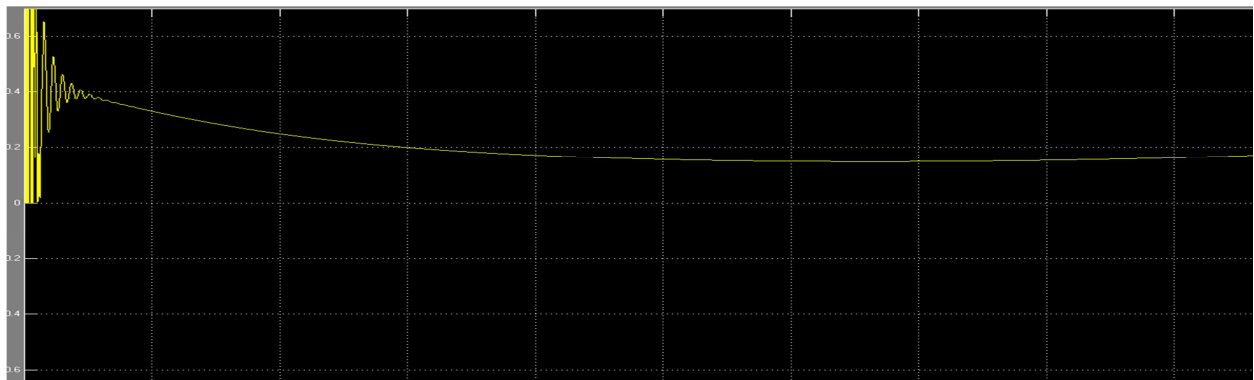
**Velocitat = 30 m/s**

**Gràfica P:**



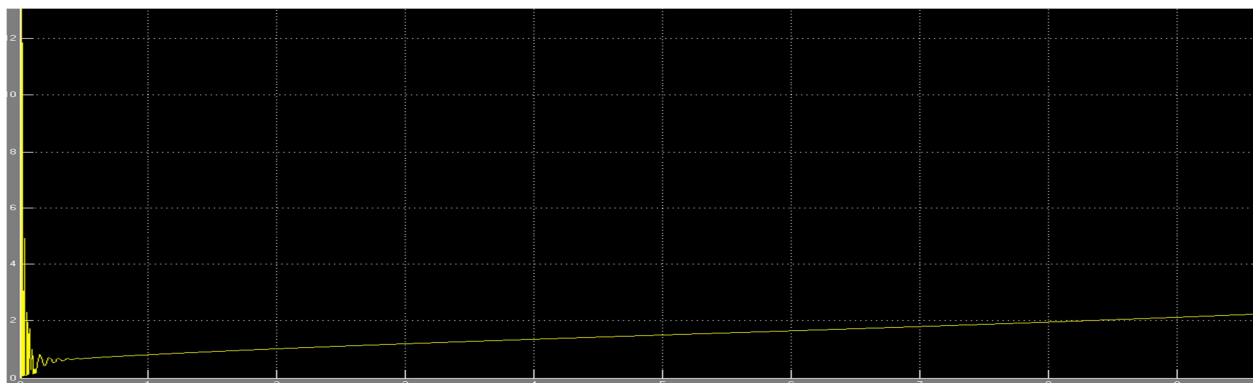
**Figura 28.42. Captura velocitat 30m/s**

**Gràfica entrada PI:**



**Figura 28.43. Captura velocitat 30m/s**

**Gràfica sortida PI:**



**Figura 28.44. Captura velocitat 30m/s**

## 28.5. Circuits de Simulació

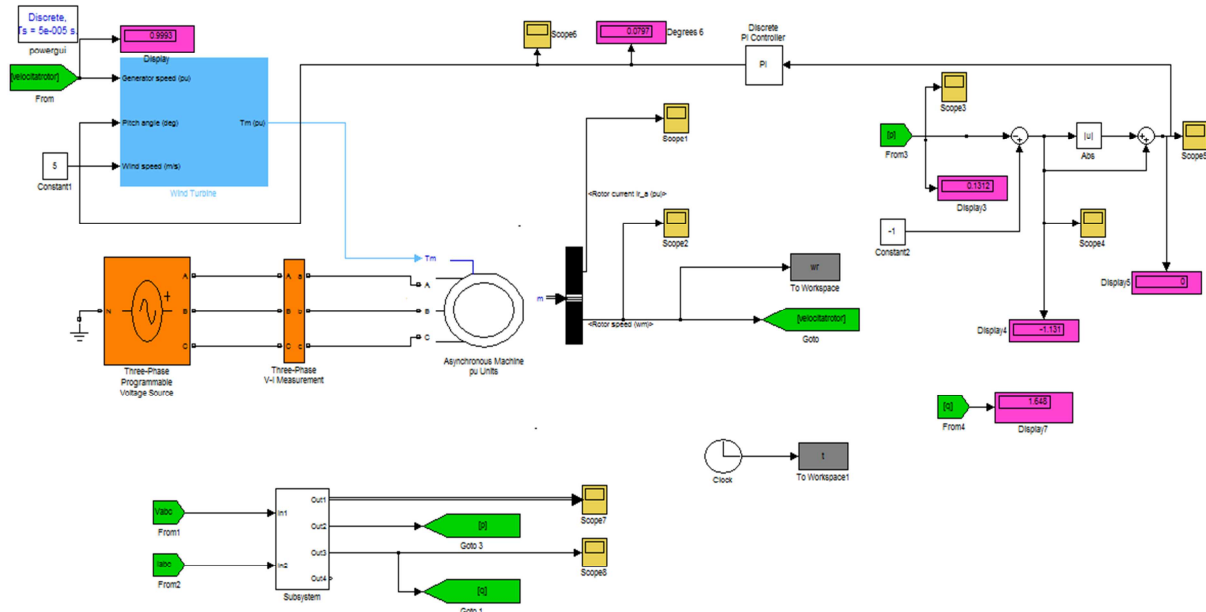


Figura 28.45. Esquema simulació resposta del pitch

## 28.6. Circuit de Subsistema

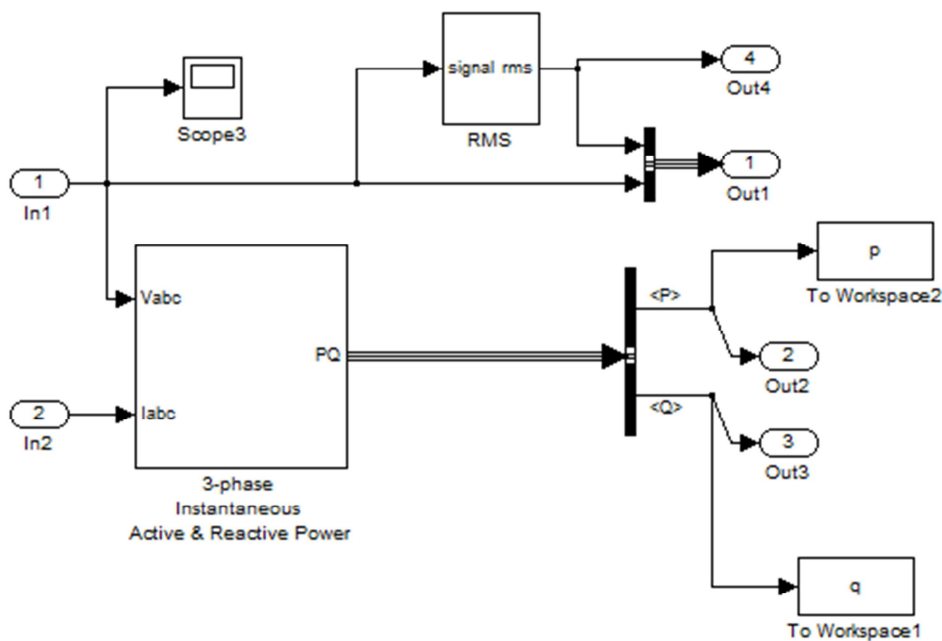


Figura 28.46. Esquema subsistema resposta del pitch

## 28.7. Conclusions

Amb aquests assajos hem pogut visualitzar el comportament d'un aerogenerador mitjançant un PI.

Penso que seria oportú introduir un rang de valors d'histèresis de manera que quan variï la velocitat del vent, l'aerogenerador no estigui girant constantment; d'altra banda podem visualitzar per unes constants de  $K_p$  i  $K_i$   $2/5$  que quan augmenta la velocitat del vent augmenta de forma exponencial el pitch.

Per un altre costat i amb uns valors de  $K_p$  i  $K_i$   $1/1$  podem observar a les simulacions que quan augmenta la velocitat del vent, el pitch varia però de forma quasi insignificant.

Es molt important ajustar correctament aquests valors per tal de no sotmetre a un gran esforç totes les seves parts mecàniques i tindre en compte el canvi de sentit del rotor en aquest aspecte.

Per últim seria adient afegir un dispositiu que ens desconnecti de la xarxa en cas de una velocitat del vent molt elevada o molt inferior que en aquest cas estaríem treballant com a motor.

**DOCUMENT N°11:**  
**CREACIÓ PROGRAMARI MITJANÇANT MATLAB**

## 29. Introducció a l'estructura

El següent apartat té com a objectiu explicar breument els coneixements emprats en el desenvolupament del programa realitzat per tal de poder seguir en tot moment el procés utilitzat.

La base del software desenvolupat té el seu inici en el programa MATLAB versió R2009b de MATHWORKS. La estructura utilitzada es pot diferenciar en dues parts: la base anomenada GUI<sup>12</sup> i el funcionament intern realitzat mitjançant programació denominat M-FILE.

Inicialment es van crear les plantilles capitulades per tal de estructurar el software en quatre apartats diferenciats e independents els uns del altres, la raó d'això resideix en que l'usuari pot utilitzar el bloc desitjat sense necessitat de fer anar tot el programa sencer.

A continuació es descriuen els blocs del programa:


- Dades eòliques.
- Selecció aerogenerador.
- Xarxa potència.

### 29.1. Creació plantilla o base

Seguidament és mostrarà com crear una plantilla base per poder treballar amb el programa, com ja s'ha dit amb anterioritat la GUI és crea clicant a la pestanya *File*, prement en *New* i seguidament en

*GUI*. Llavors prement en *Blank GUI(Default)* per començar per una GUI buida.

*File>New>GUI>Blank GUI (Default)*

D'altra manera també podem accedir directament des de el menú principal amb la icona de GUIDE  o bé també inserint el comando com a text escrivint 'guide' i prement enter.

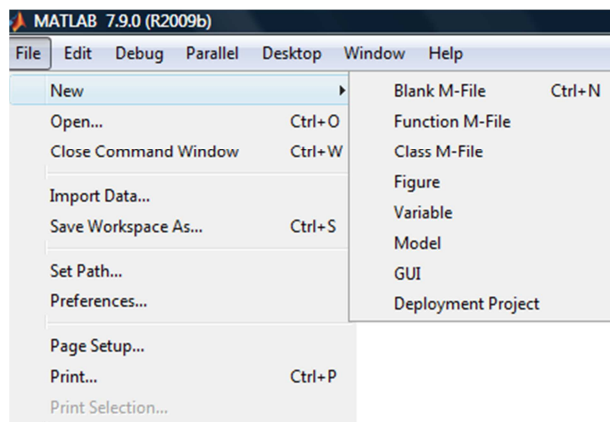


Figura 29.1. Creació de la plantilla per el software

<sup>12</sup> GUI: Interfície Gràfica d'usuari



Si es prem el botó dret sobre el fons apareixen diverses opcions, cliquem sobre *Property Inspector*. Seguidament apareix una finestra on es mostren totes les propietats d'aquest fons. En el cas que ens ocupa, el color seleccionat s'ha de veure amb una tonalitat clara per tal de no cansar a la vista.

Pel que fa a la mida de la pàgina, s'ha realitzat amb un mida diferent en funció del contingut de la mateixa donat que hi ha que tenen contingut més extens que no d'altres.

Posteriorment es crearan els polsadors de "marxa" que ens permetran avançar o retrocedir en tot moment en el procés. Aquests polsadors es situaran a la dreta de la pantalla en la part inferior donat que no ocupen molt espai i compleixen la seva funció perfectament. Arribats a aquest punt només ens queda programar el polsador per tal de fer que la GUI funcioni, ha de donar l'ordre al arxiu de programació mostrant que es crea un polsador que realitzarà la funció que es vulgui. Per tant es selecciona el polsador amb *doble click* i es busca la denominació *Tag*, el nom que es desitgi s'ha d'introduir en aquest requadre, per tal de tenir-ho localitzat a l'hora de programar. A més afegir que en aquesta pantalla l'usuari pot escollir el tipus de lletra, mida de lletra, color, l'estil i més característiques de l'entorn de la GUI.

A la imatge següent s'il·lustra el paràgraf anterior.

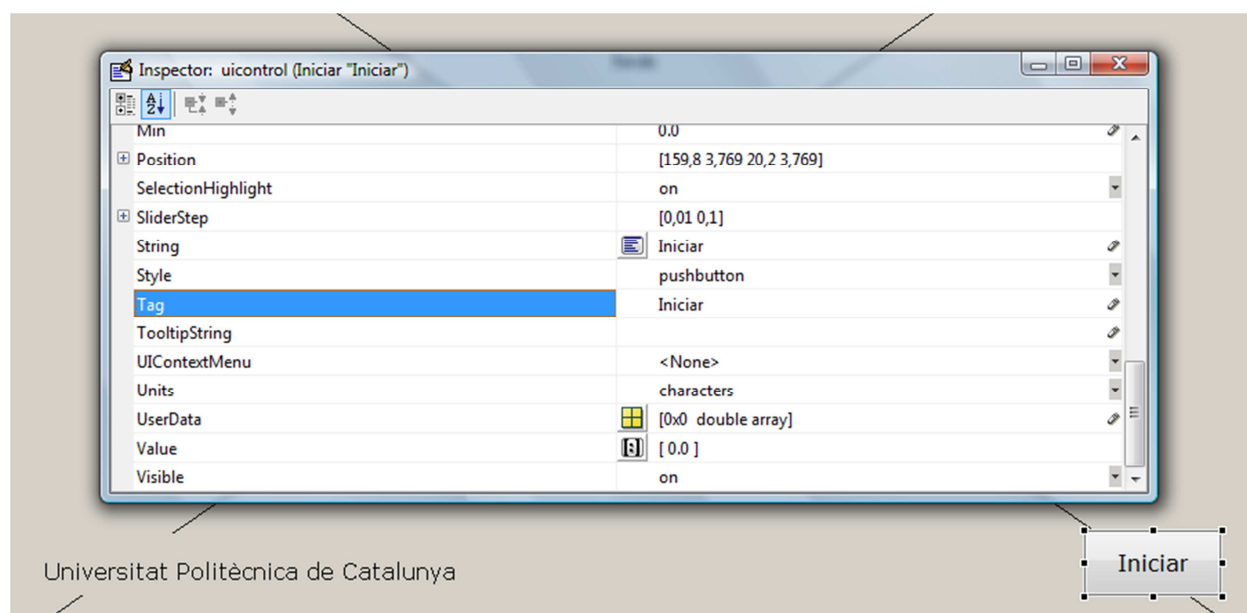


Figura 29.2. Creació dels diferents polsadors, disseny en MATLAB

En aquest punt ja tenim la plantilla realitzada, procedirem a guardar-la.

*File>Save*

S'hi escriurà el nom que es vulgui i es guardarà, veiem que a continuació apareixerà una pàgina amb text amb extensió \*.m. Aquí és on s'hi escriurà la part de programació pròpiament dita, cada pàgina està formada per dos arxius, un \*.fig (GUI) i un altre \*.m (text).

Si cliquem a *File>New>GUI>Open Existing GUI>Browse...* es pot obrir la GUI anteriorment guardada. En aquest punt es pot fer *Save as* i guardar-la amb un altre nom i ja tenim una altre pàgina igual. S'ha provat que aquesta és la millor manera de realitzar-ne una còpia.

## 29.2. Programació de les funcions

Una vegada creada la plantilla es procedeix a realitzar la programació dels polsadors, els principals seran:

- Iniciar
- Següent
- Anterior
- Final

La missió dels quals es fer córrer el programa. El primer pas un cop dissenyats es guardar-los sempre amb el mateix nom per tal de localitzar-los ràpidament. Seguidament s'ha de obrir el arxiu de dades (nom del capítol .m) i programar el polsador desitjat.

En el cas del polsador **Iniciar** la seva programació es la següent:

```
clear all  
  
close all, cap1pag2;
```

S'eliminarà el valor de totes les variables, es tancaran totes les finestres, i s'obrirà la pàgina cap1pag2, aquesta es troba a la pantalla inicial i ens permet accedir a qualsevol bloc. Guardarem la GUI i ja disposem de la base per passar al pas següent.

A les següents pàgines la programació dels polsadors de “marxa” serà:

Un cop s'hagi trobat la funció, en el cas del polsador **Següent** s'hi escriurà:

```
close all, cap2pag3;
```

En aquest cas es tancaran totes les finestres i la pàgina de destí serà cap2pag3 que la posem com a exemple, ja es modificarà posteriorment.

En el cas del polsador **Anterior** s'hi escriurà:

```
clear all  
  
close all, cap1pag1;
```

S'eliminarà el valor de totes les variables, es tancaran totes les finestres, i s'obrirà la pàgina cap1pag1.

S'ha de dir que aquest programa està pensat per anar sempre endavant, és a dir, un cop premem el polsador *Anterior* o *Inici*, s'eliminaran els valors de les variables i haurem de tornar a començar. S'ha pres aquesta decisió per tal de no provocar conflictes entre variables, ja que està provat que no sempre funciona el procediment d'utilitzar una variable global per tot el programa, és doncs una mesura de seguretat per la realització dels càlculs.

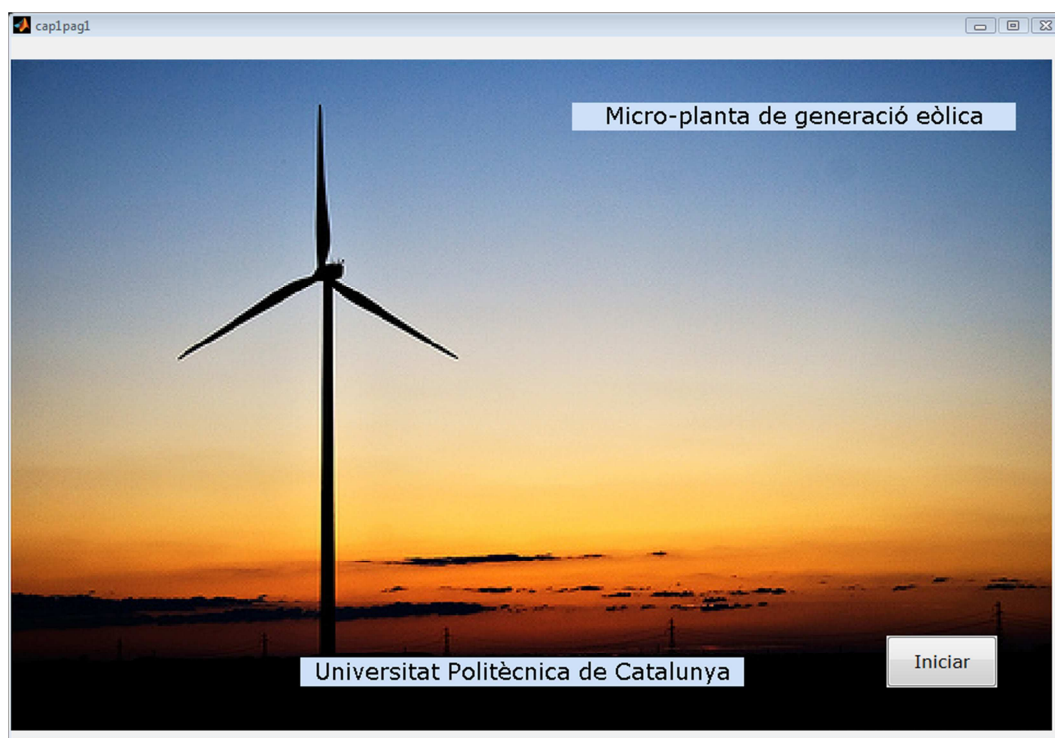
Les restants fórmules utilitzades són elèctriques, pròpiament dites, implementades en condicions bàsiques com *if* o *else*, que no comporten més complicació a l'hora de comprendre el funcionament del programa.

### 30. Introducció al programari

La primera pàgina important del present programa es, en la que es subdivideixen els blocs creats. Aquests es poden fer servir independentment, però per tal de seguir alguns paràmetres del projecte executiu calculats amb anterioritat s'haurà de fer des de el començament. Si es prem la tecla següent el programa comença a fer anar el bloc de les dades eòliques.

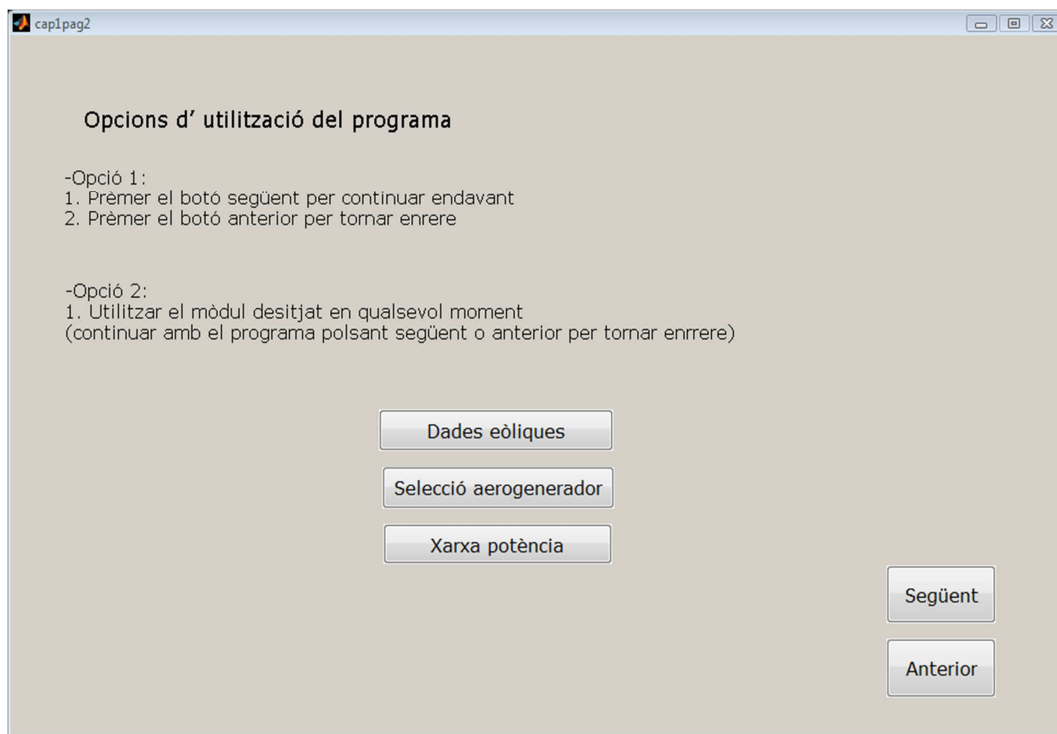
Seguidament s'ha de dir que per tal de fer anar el programa en tot moment, s'ha d'obrir el full complementari de registre de dades i guardar-lo. El fitxer es troba adjuntat al present projecte en una fulla d'Excel.

La primera pàgina que es veurà serà la següent:



**Figura 30.1. Pàgina d'inici programari**

Seguidament, en la pàgina següent, es veuen diversos polsadors que mostren els diferents mòduls pels quals està format el programa. Es pot escollir si es vol dur a terme tot el programa d'inici a fi (premer següent) o escollir un mòdul en concret.



**Figura 30.2. Programari, disseny en MATLAB**

Es important tenir en compte que:

- Els decimals s'han d'introduir separats amb punts no comes.
- El programa està dissenyat per avançar, anar passant de pàgina prement següent, ja que si premem anterior o inici s'eliminen els valors guardats.
- Es tracta d'un programa docent.

### 30.1. Dades eòliques

Aquesta part del programa és on es guarden les dades del recurs eòlic: vent i direcció, que seran utilitzades al llarg de tot el programa. És important tenir en compte que les dades d'entrada han d'estar obtingudes a 10m d'alçada, ja que els càlculs es realitzen en base a l'alçada del anemòmetre.


Com ja s'ha explicat en l'apartat anterior, es guardaran les dades en l'arxiu Excel: 'entrada\_dades'.

En les pàgines següents serà possible calcular:

- La velocitat mitja i freqüència dels diferents sectors de la Rosa dels Vents a 10m.
- Representar la distribució de Weibull a 10m.

- Representar la Rosa dels Vents a 10m.
- Representar la variació del vent amb l'alçada.

El primer pas, serà introduir dades. És a dir, triar quantes dades diàries s'obtenen, si es tracta d'una sola dada de velocitat diària, si es tracta de dades de cada hora o bé de cada mitja hora. També s'ha de precisar si es tracta de dades d'un sol dia, d'un mes o d'un any, i de quants dies en concret. La dimensió ha de coincidir amb les dades introduïdes en l'arxiu Excel. Si no es així, el programa no calcularà els sectors en la pàgina següent i sortirà un missatge d'error.

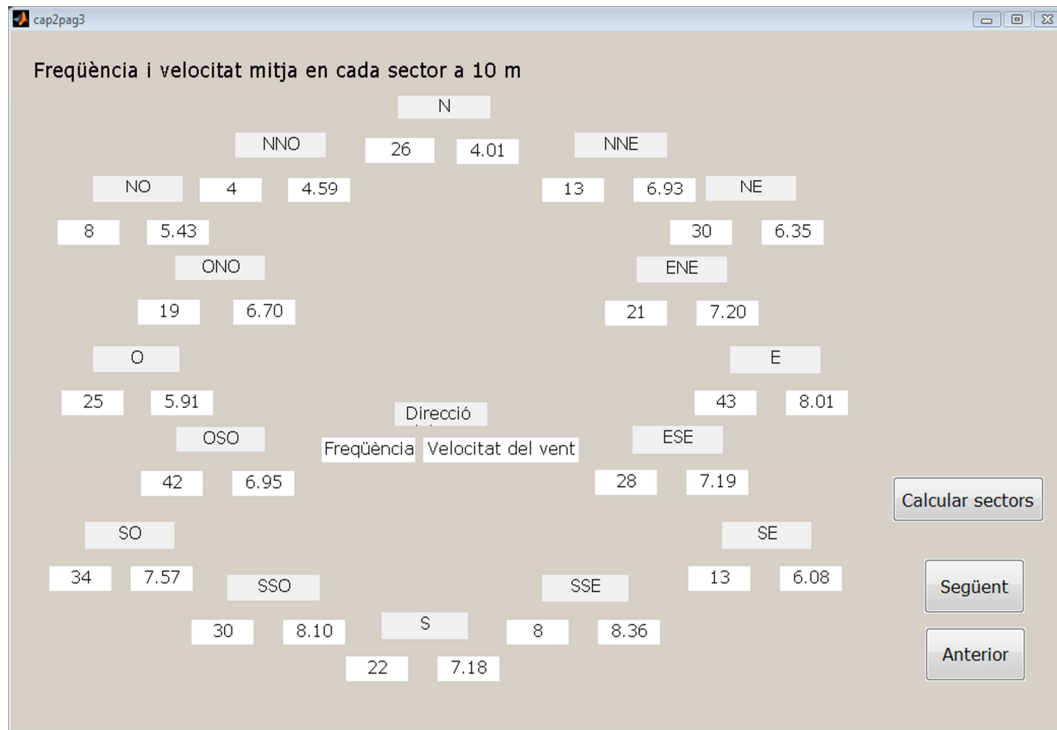


**Figura 30.3. Processament de dades, disseny en MATLAB**

Com s'ha mencionat anteriorment, a l'hora de carregar les dades es necessari tenir dades suficients; el valor màxim que s'ha de tindre per tal de poder fer un càlcul cada 30 min durant un any de 366 dies és de 17.568 dades. Aquesta és la quantitat màxima per sota d'aquesta podem fer qualsevol combinació de registre de dades per dies d'estudi.

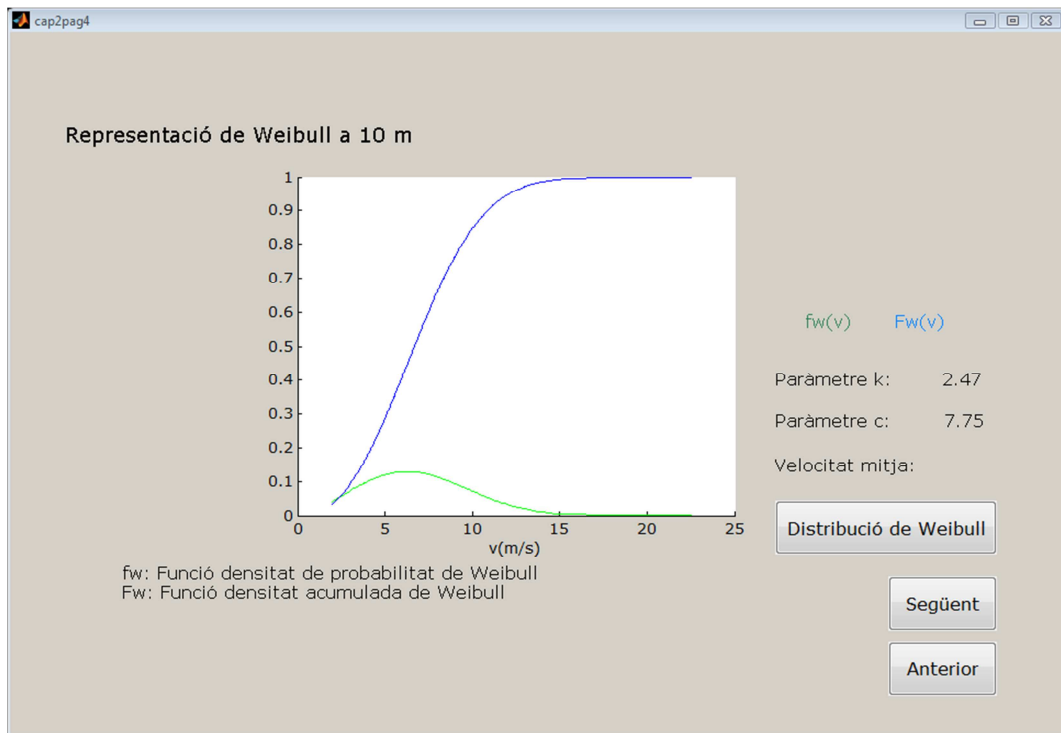
Un cop realitzat aquest estudi es procedeix a calcular la freqüència i la velocitat mitja en la que bufa el vent i en quina direcció, l'objectiu d'aquest càlcul es poder calcular la rosa dels vents i la distribució de Weibull.

A la imatge següent es mostra la direcció del vent, la freqüència i la velocitat mitja, per tal de fer el càlcul s'ha de prémer el polsador calcular sectors.



**Figura 30.4. Rosa del vents, disseny en MATLAB**

A la següent imatge es fa una representació de la distribució de Weibull, de la funció de probabilitat i de la seva distribució acumulada, també es mostren els paràmetres  $k$ ,  $c$  i  $vm$  els quals explicarem a continuació.



**Figura 30.5. Distribució de Weibull, disseny en MATLAB**

Una cop pulsat 'següent' després de representar la funció de Weibull és fa una representació de la rosa dels vents a 10 metres d'alçada per tal de que ens mostri la direcció principal del vent, així sabrem com orientar el nostre aerogenerador.



**Figura 30.6. Representació de la rosa dels vents, disseny en MATLAB**

Continuant amb el procés, es realitza una gràfica que té com a únic paràmetre introduir la rugositat del terreny; un cop inserta aquest paràmetre (Es mostren els valors a la mateixa GUI) es realitza una gràfica en funció de la velocitat mitja calculada anteriorment amb la probabilitat de Weibull i de l'alçada, per tal de mostrar com varia la velocitat del vent en funció de l'alçada.



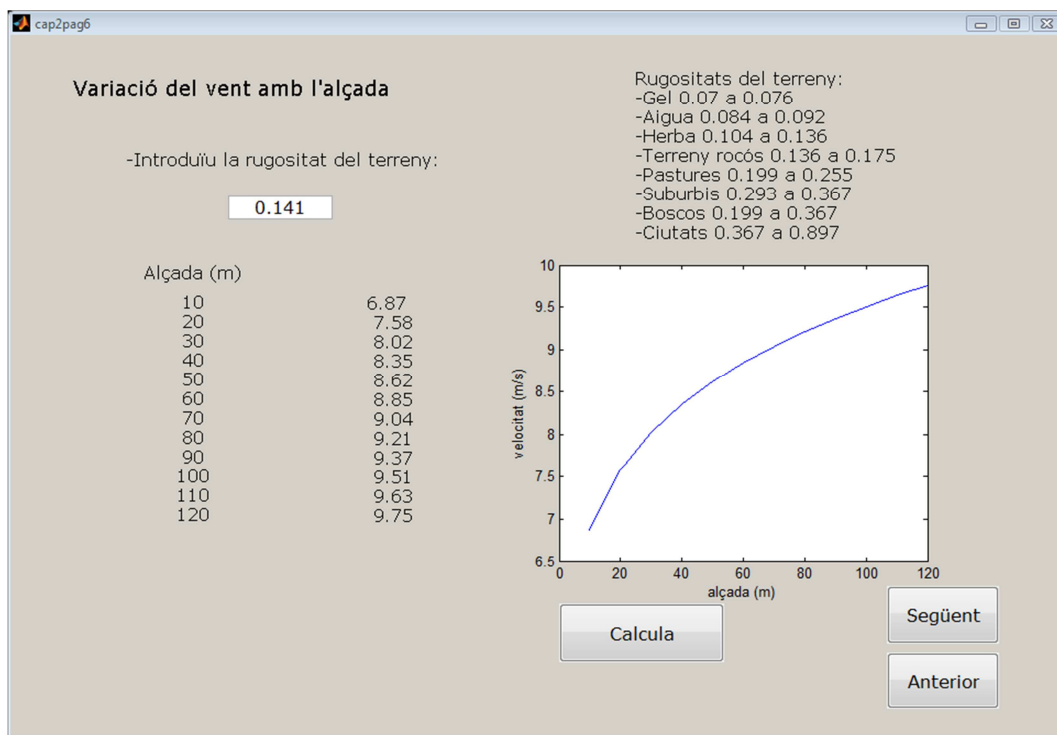


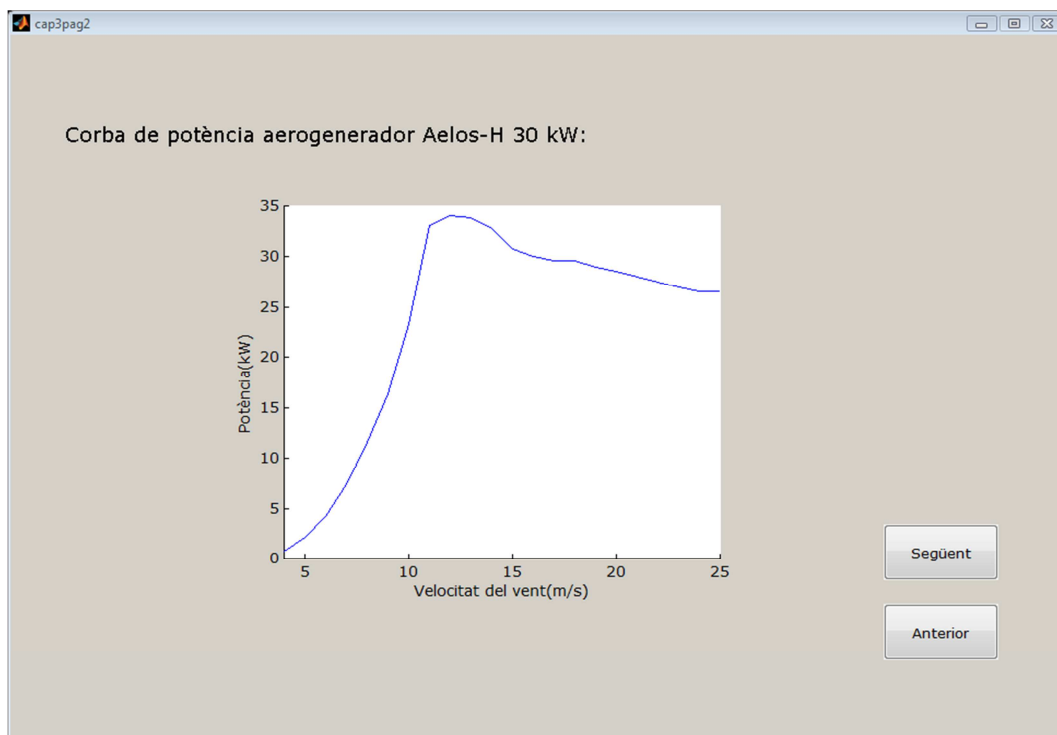
Figura 30.7. Càlcul del vent a diferents alçades, disseny en MATLAB

### 30.2. Selecció de l'aerogenerador

En el següent bloc es pretén escollir un aerogenerador en funció de la potència. Aquesta es calcularà a partir de les dades del vent i alçada obtingudes en l'apartat anterior.

En el present projecte s'ha escollit un aerogenerador de la marca AELOS de 30kW que després d'un estudi acurat s'ha arribat a la conclusió que ofereix una bona relació qualitat-preu. Aquest aerogenerador és l'ideal per l'emplaçament, ja que amb un estudi eòlic del projecte executiu ofereix la potència necessària per tal d'alimentar a les càrregues.

D'altra banda, s'ha volgut simplificar el procés ja que en funció de la potència obtinguda en el mercat podem trobar diversos tipus segons marques, models, alçades, tipus de turbina...



**Figura 30.8. Corba de potència del aerogenerador, disseny en MATLAB**

Es podrà realitzar el càlcul de la potència una vegada s'hagin introduït diverses dades mitjançant els *edit texts* disposats a la pàgina. Primer s'ha d'escollir un aerogenerador per obtenir el valor de l'alçada i el  $C_p$  i poder calcular la potència. El valor de  $C_p$ , és una dada entregada pel fabricant, aquesta es pot trobar en la seva fitxa tècnica, i s'introduirà manualment.

- Es dona l'opció de triar pel usuari el valor de l'alçada a la que s'instal·laran el aerogeneradors. El fabricant del Aeolos recomana uns valors de entre 18 o 24 metres d'alçada per aquest aerogenerador.
- La rugositat ( $\alpha$ ) és un paràmetre que depèn del terreny, com ja s'ha mostrat en el capítol anterior.

A continuació clicarem el pulsador de velocitat mitja per obtenir quina és la velocitat mitjana a l'alçada seleccionada. A partir d'aquí ja podrem trobar quin és el  $C_p$  corresponent al nostre aerogenerador.

- Com s'ha mencionat anteriorment, la densitat de l'aire ( $\rho$ ) que utilitzarem per defecte serà 1,217 ( $\text{Kg/m}^3$ )
- L'àrea (A) la trobarem a partir del diàmetre del rotor.
- $V_i$  és la velocitat mitjana a l'alçada de 10 metres.

Finalment premerem el pulsador 'Calcula'. A la imatge següent és fa mostra del càlcul anteriorment mencionat.

cap3pag3

**Dues maneres de trobar la potència:**

-Omple tots els espais en blanc per calcular la potència:

$P = (1/2) * C_p * \text{densitat} * A * v^3$

alçada [m]

$\alpha = \text{rugositat}$

$C_p = \text{dades fabricant}$    7.77

densitat=per defecte 1,255 Kg/m<sup>3</sup>, és a nivell del mar

$A = \pi * (D/2)^2$ . Introduir diàmetre pales

$v = v_i * (h/10)^\alpha$

$v_i = v \text{ mitja (a 10 m) (m/s)}$  6.87

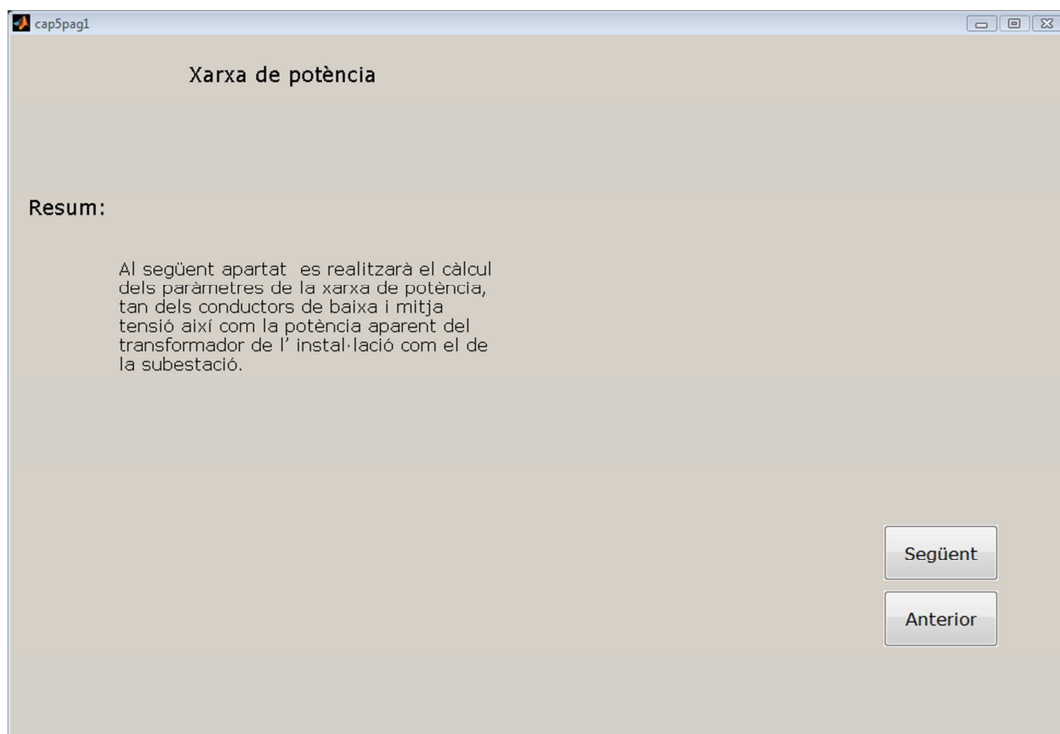
19.77

**Figura 30.9. Potència del aerogenerador, disseny en MATLAB**

### 30.3. Xarxa de potència

Al següent apartat, es realitzarà el càlcul dels paràmetres de la xarxa de potència, tant dels conductors de baixa i mitja tensió així com la potència aparent del transformador de la instal·lació com el de la subestació.

A continuació es presenta la estructura del bloc:



**Figura 30.10. Xarxa de potència, disseny en MATLAB**

En el primer apartat es determina la secció del conductor de la instal·lació principal de BT, la qual està formada pels conductors que uneixen el generador i el transformador de MT/BT.

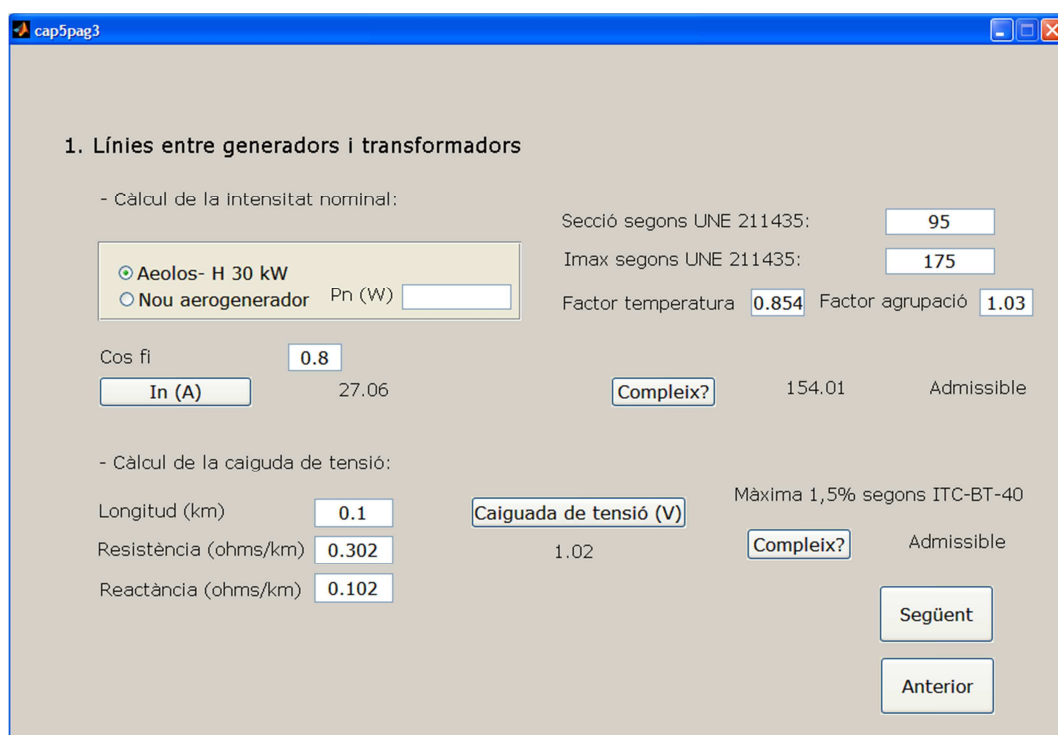
El programa ens dona l'opció d'escollir l'aerogenerador seleccionat anteriorment o un altre, només introduint el seu valor de potència i el cosinus de fi previst de la instal·lació, es calcula la intensitat nominal 'In' el resultat mostrat és multiplicat per un factor de 1,25 segons ITC-BT-40.

Coneixent la intensitat nominal, l'usuari podrà escollir la secció dels conductors a utilitzar consultant la norma UNE 211435. S'haurà d'introduir la secció total dels conductors a utilitzar així com la seva intensitat màxima admissible.

Consultant la citada norma UNE es determinen els factors de correcció aplicables. Després d'indicar els factors de correcció, prement el polsador 'Compleix?' Es calcula la intensitat màxima admissible segons el criteri tèrmic.

Posteriorment l'usuari marca la longitud de la línia així com la seva resistència i reactància consultant les dades del fabricant dels conductors. Es calcula la caiguda de tensió present a la línia i mitjançant el polsador 'Compleix?' s'informa sobre si la caiguda de tensió supera el 1,5%.

Si la secció no és admissible segons algun dels dos criteris descrits és necessari escollir una secció superior:



**1. Línies entre generadors i transformadors**

- Càlcul de la intensitat nominal:

☒ Aeolos- H 30 kW  
☐ Nou aerogenerador Pn (W)

Cos fi   
 In (A)

Secció segons UNE 211435:   
 Imax segons UNE 211435:   
 Factor temperatura  Factor agrupació

Compleix?  Admissible

- Càlcul de la caiguda de tensió:

Longitud (km)   
 Resistència (ohms/km)   
 Reactància (ohms/km)

Caiguda de tensió (V)

Màxima 1,5% segons ITC-BT-40  
 Compleix?

Següent  
 Anterior

Figura 30.11.Línia de BT soterrada del aerogenerador, disseny en MATLAB

A la pàgina sobre els transformadors de MT/BT, es calcula la intensitat nominal del secundari del transformador i posteriorment la potència aparent necessària del transformador.

L'usuari indica la tensió del secundari i mitjançant els pulsadors 'calcular', s'obté la intensitat del secundari i la potència del transformador.



**2.Transformador de MT/BT**

- Determinació de la potencia aparent del transformador:

Tensió del primari (kV)	25	Intensitat del primari (A)	33.8291
Tensió del secundari (kV)	<input type="text" value="0.42"/>	Intensitat del secundari (A)	<input type="button" value="calcular"/>
			27.06
Potència aparent del transformador (kVA)	<input type="button" value="calcular"/>	18.75	

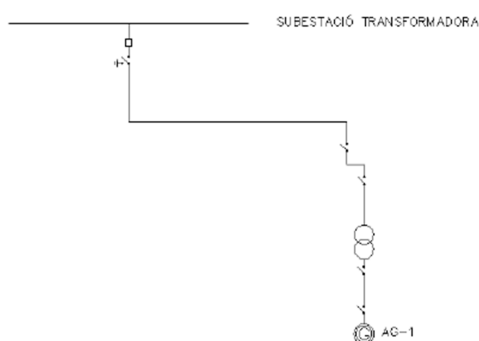
**Figura 30.12. Dimensionat del Centre de Transformació, disseny en MATLAB**

El següent pas en els càlculs de la xarxa de potència, són els càlculs de les línies de mitja tensió.

En aquest punt es necessari escollir una configuració per la xarxa de MT:

- Configuració 1 (Un aerogenerador):

Segons aquesta configuració cada transformador de MT/BT es troba connectat a la subestació mitjançant una línia de MT.



cap5pag5

### 3. Línies de Mitja Tensió: Configuració 1

(1 circuit de l' aerogenerador a la subestació)

- Càlcul de la intensitat nominal:

Tensió de la xarxa (kV)	0.42	Secció segons fabricant	95
Potència del circuit (kW)	30	Imax segons fabricant	157
Cos fi	0.8	Factor temperatura	0.873
		Factor agrupació	1
		Factor profunditat	1
		Factor resistivitat	1

In circuit (A) 51.55

Compleix? 137.06 Admissible

- Càlcul de la caiguda de tensió:

Longitud (km)	0.1	Caiguda de tensió (V)	Màxima 5%
Resistència (ohms/km)	0.32		2.83
Reactància (ohms/km)	0.102		

Compleix? Admissible

- Pèrdua de potència en el circuit (W) 255.10

Calcular

Següent

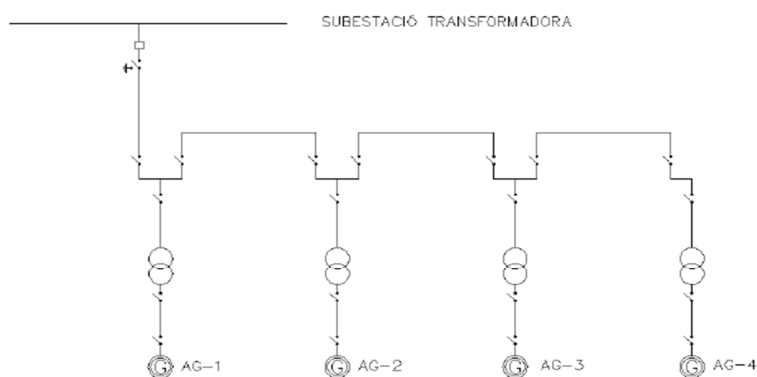
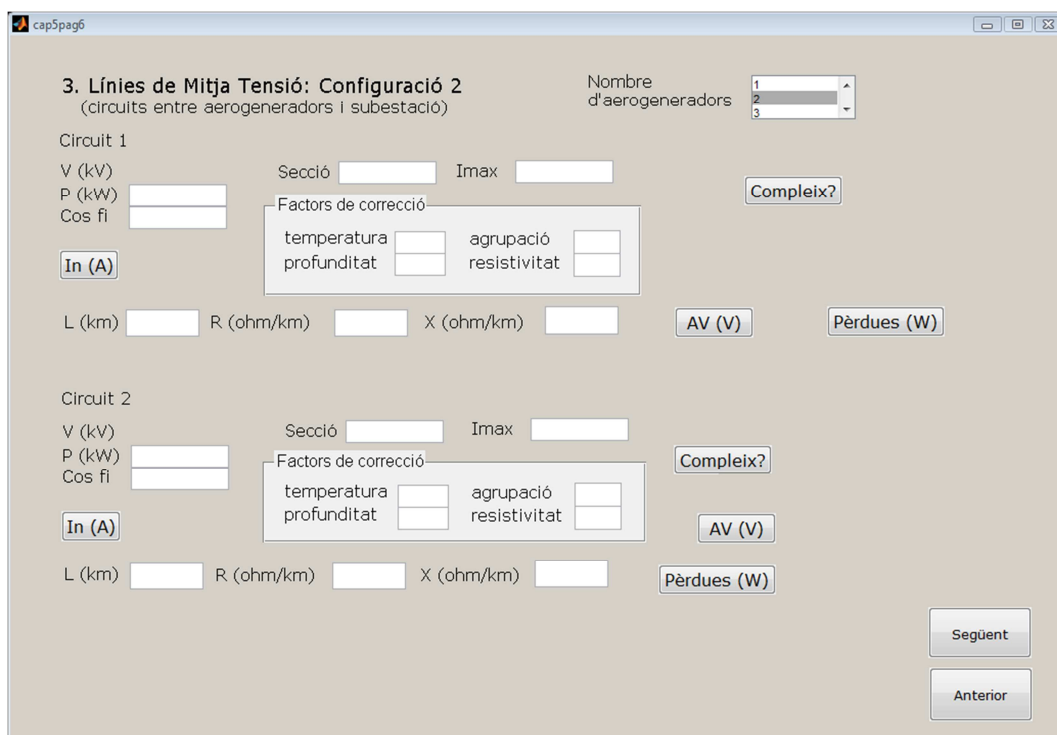
Anterior

Figura 30.13. Dimensionat de la línia de mitja tensió, disseny en MATLAB

- Configuració 2 (Més d'un aerogenerador):

En el present projecte no es realitzen càlculs pertinents a més d'un aerogenerador donat que no és contempla la possibilitat de posar més d'un al projecte executiu.

La descripció del model és la següent: en aquest cas un circuit col·lector de mitja tensió rep l'energia de diversos transformadors de MT/BT. Aquest circuit col·lector es troba dividit en circuits entre els diversos transformadors.

**cap5pag6**

**3. Línies de Mitja Tensió: Configuració 2**  
(circuit entre aerogeneradors i subestació)

Nombre d'aerogeneradors:

**Circuit 1**

V (kV)  Secció  Imax

P (kW)

Cos fi

Factors de correcció:

temperatura  agrupació

profunditat  resistivitat

L (km)  R (ohm/km)  X (ohm/km)

**Circuit 2**

V (kV)  Secció  Imax

P (kW)

Cos fi

Factors de correcció:

temperatura  agrupació

profunditat  resistivitat

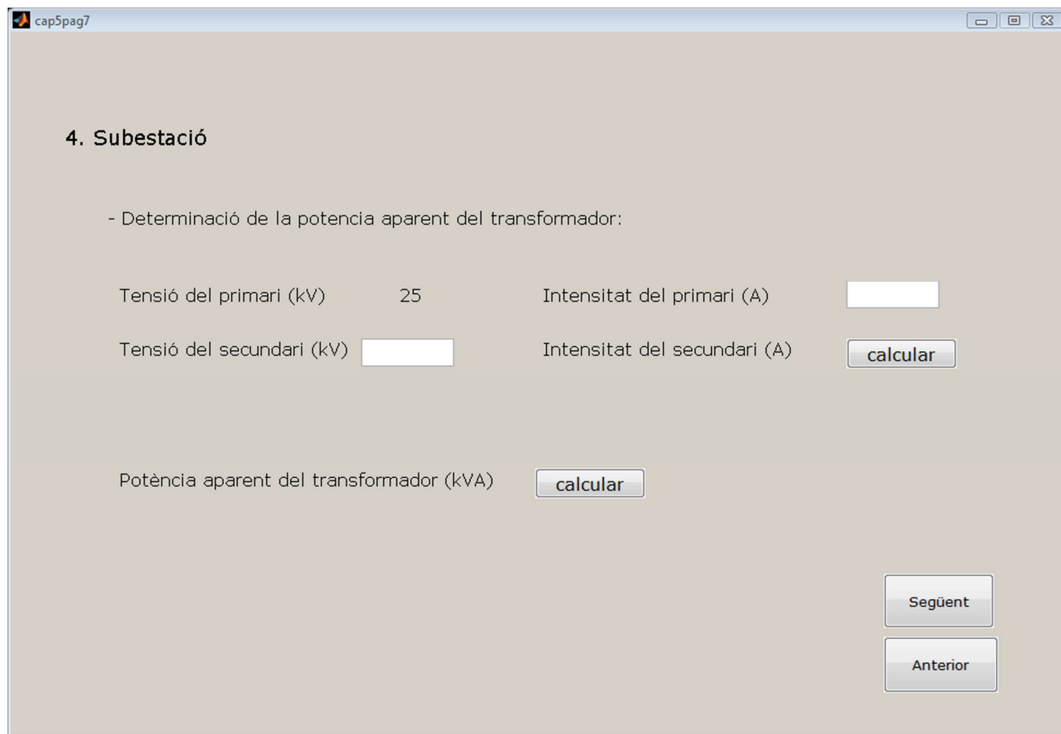
L (km)  R (ohm/km)  X (ohm/km)

**Figura 30.14. Dimensionat de la línia per més d'un aerogenerador, disseny en MATLAB**



L'última pàgina permet calcular la potència aparent del transformador de la subestació.

L'usuari indica la intensitat del primari així com la tensió del secundari, mentre que la tensió del primari queda marcada per la introduïda anteriorment a la xarxa de mitja tensió.



cap5pag7

#### 4. Subestació

- Determinació de la potencia aparent del transformador:

Tensió del primari (kV)	25	Intensitat del primari (A)	<input type="text"/>
Tensió del secundari (kV)	<input type="text"/>	Intensitat del secundari (A)	<input type="text"/>

Potència aparent del transformador (kVA)

**Figura 30.15. Dimensionat de la subestació, disseny en MATLAB**

**DOCUMENT N°12:**  
**PRESSUPOST**

## 31. Pressupost

### 31.1. Pressupost de l'aerogenerador

Article	Descripció	Preu per unitat	Quantitat	TOTAL
<b>1</b>	<b>Turbina eòlica Aeolos-H 30 kW</b>			<b>41841,14€</b>
<b>1.1</b>	Turbina eòlica 30 kW	25721,36€	1	25721,36€
<b>1.2</b>	Controlador connexió xarxa	4217,66€	1	4217,66€
<b>1.3</b>	Inversor connexió xarxa	11902,12€	1	11902,12€
<b>2</b>	<b>Torre</b>			<b>14802,12€</b>
<b>2.1</b>	Torre Tripala (sense inclinació) de 24 m AEOLOS, color blanc	13563,62€	1	13563,62€
<b>2.2</b>	Cablejat intern de la torre	1238,50€	1	1238,50€
<b>3</b>	<b>Obra civil</b>			<b>18537,69€</b>
<b>3.1</b>	Cimentació de la torre	11350,46€	1	11350,46€
<b>3.2</b>	Camins emergents	325,45€		325,45€
<b>3.3</b>	Grues i zones d'estacionament	5.856,10€		5.856,10€
<b>3.4</b>	Obres civils pels centres de transformació	1005,68€		1005,68€
<b>4</b>	<b>Treballs elèctrics</b>			<b>3153,30€</b>
<b>4.1</b>	Central de potència reactiva	563,00€	1	563,00€
<b>4.2</b>	Centre de transformació	1.786,00€	1	1.786,00€
<b>4.3</b>	Subministrament i instal·lació de cable de connexió a terra	256,30 €		256,30 €
<b>4.4</b>	Línia elèctrica soterrada (0.1km, 0,6/1kV)	548,00 €		548,00 €
<b>5</b>	<b>Gestió de projectes i la mobilització de l'emplaçament</b>	1722,00€		1722,00€
<b>6</b>	<b>Altres</b>			<b>2030,00€</b>
<b>6.1</b>	Posada en marxa dels	2030,00€		2030,00€

aerogeneradors (inclòs petroli i recanvis en servei) d'instal·lació i supervisió de les turbines.			
SUBTOTAL			82086,25€
7	Contingències	8%	6566,90€
TOTAL (€)			88653,15€
1 <sup>a</sup> Certificació	Pagament per avançat	50%	44326,57€
2 <sup>a</sup> Certificació	Terminació mecànica	25%	22163,28€
3 <sup>a</sup> Certificació	Posada en marxa	15%	13297,97€
4 <sup>a</sup> Certificació	Terminació final	10%	8865,31€

Taula 31.1. Pressupost de l'aerogenerador i la instal·lació

Els preus no inclouen tots els impostos locals i les contribucions.

Els preus es indicatiu i no vinculant.

### 31.2. Pressupost de la infraestructura

Article	Descripció	Preu per unitat	Quantitat	TOTAL
<b>1</b>	<b>Centre de Transformació</b>			<b>109694,00€</b>
1.1	Edifici prefabricat de superfície	16198,00€	1	16198,00€
1.2	Cel·la de línia	8614,00€	3	25842,00€
1.3	Cel·la de remunt	2749,00€	1	2749,00€
1.4	Cel·la de protecció general	20777,00€	1	20777,00€
1.5	Cel·la de mesura	8875,00€	1	8875,00€
1.6	Cel·la de línia	5062,00€	1	5062,00€
1.7	Equip de telecomandament	9998,00€	1	9998,00€
1.8	Transformador de potència	14389,00€	1	14389,00€
1.9	Quadre de BT	4849,00€	1	4849,00€
1.10	Quadre de mesura AT	955,00€	1	955,00€
<b>2</b>	<b>Obra civil</b>			<b>2886,63€</b>
2.1	Construcció de mur	68,75€	15	1031,25€
2.2	Moviment de terres	42,50€	13	552,50€
2.3	Nivel·lació terreny	34,75€	2,5	86,88€
2.4	Paviment	59,50€	8	476,00€
2.5	Vallat	33,50€	4	134,00€
2.6	Arqueta 60x60cm per cables BT	537,00€	1	537,00€
2.7	Tub polietilè de doble paret Ø 160mm	23,00€	3	69,00€
<b>3</b>	<b>Xarxa de terres</b>			<b>1342,00€</b>
3.1	Posada a terra de protecció	645,00	1	645,00€
3.2	Posada a terra de servei	697,50	1	697,00€

<b>SUBTOTAL</b>				<b>113922,63€</b>
<b>4</b>	Contingències		8%	9113,81€
<b>TOTAL (€)</b>				<b>123036,44€</b>

**Taula 31.2. Pressupost de la infraestructura**

**DOCUMENT N°13:**  
**ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA**

## 32. Introducció

La viabilitat econòmica avalua la conveniència del projecte, tenint en compte la relació d'entre els recursos utilitzats per a obtenir-lo i els que produeix el projecte. Així doncs, únicament es tracta d'analitzar la rendibilitat del projecte.

Per a que el projecte es pugui considerar viable cal que compleixi amb els requisits que exposarem a continuació.

## 33. Marc legal

El Règim Especial de producció d'energia elèctrica s'utilitza com a complement al Règim Ordinari. S'aplica a l'Estat per a la injecció a les xarxes de distribució i transport d'energia procedent del tractament de residus, la biomassa, la hidràulica, la cogeneració, la solar i per últim, el que ens afecte a nosaltres la eòlica.

La llei 80/1980, de Conservació de l'Energia va regular per primer cop aquest tipus de centrals generadores. Aquesta llei estableix els objectius de millorar l'eficiència energètica de la indústria i reduir la dependència de l'exterior.

El següent pas va ser la creació del Plan Estratégico Nacional 1991-2000, el qual establia un programa d'incentius per a la cogeneració i de la producció amb energies renovables per a intentar passar del 4,5% de la producció nacional dels anys 90 fins al 10% per a l'any 2000.

Finalment, la llei 54/1997, de 27 de Novembre, del Sector Elèctric, fa compatible la liberalització del sistema elèctric amb l'objectiu de garantir el subministrament amb una qualitat adequada, al menor preu possible i minimitzant l'impacte ambiental.

El Real Decret 661/2007, de 25 de Maig, regula actualment l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial. Aquest decret estableix un nou règim jurídic i econòmic de l'activitat de producció d'energia elèctrica que substitueix al Real Decret 436/2004, de 12 de Març.

Es considera que la potència de la instal·lació és la suma de totes les potències instal·lades per a cada un dels grups definits a continuació. Així la potència de la nostra instal·lació serà de 30 kW. Al tractar-se d'un parc eòlic amb una potència instal·lada menor a 50 MW, segons la Llei 54/1997, de 27 de Novembre pot acollir-se a les avantatges de la producció en Règim Especial. Aquest tipus d'instal·lacions es classifiquen en categories, grups i subgrups.

Així el cas que ens ocupa pertany a:

Categoria b): Instal·lacions que utilitzin com a energia primària alguna de les energies renovables no consumibles, biomassa, o qualssevol tipus de biocarburant, sempre i quan el seu titular no realitzi activitats de producció en Règim Ordinari. Aquesta categoria es classifica alhora en vuit grups:

Grup b.1. Instal·lacions que utilitzin com a energia primària l'energia solar mitjançant la tecnologia fotovoltaica.

**Grup b.2. Instal·lacions que únicament utilitzin com a energia primària l'energia eòlica.**  
**Subgrups:**

**Subgrup b.2.1. Instal·lacions eòliques ubicades al terra.**

Subgrup b.2.2. Instal·lacions eòliques ubicades al mar territorial.



## 34. Règim econòmic

Segons la normativa en vigor (R.D. 661/2007, 25 de Maig) els titulars del parc a l'hora d'obtenir una retribució econòmica de l'energia elèctrica produïda hauran d'optar per una de les dues opcions.

### 34.1. Cedir l'electricitat al sistema

Aquest sistema de retribució econòmica es basa en cedir l'electricitat al sistema a través de la xarxa de transport o distribució, obtenint a canvi una tarifa regulada, única per a tots els períodes de programació, expressada en c€/el kWh. Per a poder operar a tarifa regulada cal tenir en compte els següents punts.

- Complir els requisits administratius de Participació en el mercat elèctric, que apareixen al mateix Real Decret.
- Els titulars del parc podran elegir, per períodes no inferiors a un any, l'opció de venda de la seva energia que mes li convingui. L'elecció es comunicarà a l'empresa distribuïdora i a la Direcció General de Política Energètica i Mines.
- La tarifa regulada consisteix en una quantitat fixa, única per a tots els períodes de programació. La tarifa vigent durant el 2009 és la del ITC/3801/2008, de 26 de Desembre, Annex IV.

Grupo	Subgrupo	Potencia	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referencia c€/kWh	Limite Superior c€/kWh	Limite Inferior c€/kWh
b.1	b.1.1	P≤100 kW	primeros 25 años	47,0181			
			a partir de entonces	37,6144			
		100 kW<P≤10 MW	primeros 25 años	44,5751			
			a partir de entonces	35,6601			
		10<P≤50 MW	primeros 25 años	24,5311			
			a partir de entonces	19,6249			
b.2	b.2.1		primeros 25 años	28,7603	27,1188	36,7252	27,1228
			a partir de entonces	23,0080	21,6950		
			primeros 20 años	7,8183	3,1273	9,0692	7,6098
			a partir de entonces	6,5341			
	b.2.2*				9,0004	16,9494	

Taula 34.1 Taula d'amortització

### 34.2. Vendre l'electricitat al mercat de producció

Aquest altra sistema consisteix en vendre l'electricitat al mercat de producció d'energia elèctrica. En aquest cas, el preu de venda de l'electricitat serà el preu resultant al mercat organitzat o el preu lliurement negociat pel titular del parc, complementat per una prima en c€/kWh. Punts a tenir en compte:

- Complir els requisits administratius de Participació en el mercat elèctric, que apareixen al mateix Real Decret.

- Els titulars del parc podran elegir, per períodes no inferiors a un any, l'opció de venda de la seva energia que mes li convingui. L'elecció es comunicarà a l'empresa distribuïdora i a la Direcció General de Política Energètica i Mines.
- La prima, per al nostre cas, s'obtindrà durant els primers 20 anys de funcionament de la nostra instal·lació. Consisteix en una quantitat addicional al preu de mercat organitzat, o del preu lliurement negociat per el titular del parc. La quantitat de la prima variarà en funció del preu de referència i es calcularà en franges temporals d'una hora de la següent forma:
  - Si *preu del mercat de referència + prima de referència* es troba entre el límit superior (8,4944 c€/kWh) i el límit inferior (7,1275 c€/kWh), el valor de la prima a rebre serà el de referència (2,9291 c€/kWh)
  - Si *preu del mercat de referència + prima de referència* és igual o inferior al límit inferior, el valor de la prima a rebre serà el límit inferior de la prima (7,1275 c€/kWh) – *preu de l'horari de mercat de referència per a aquella hora*.
  - Si *preu del mercat de referència* es troba entre (*límit superior – prima de referència*) i límit superior, el valor de la prima serà *límit superior – preu de referència del mercat*.
  - Si *valor del preu de mercat de referència* superior o igual al límit superior el valor de la prima serà 0 per a aquesta hora.

### 34.3. Conclusions

El preu de venda de l'energia varia en funció del temps. En aquest moment el kWh d'energia eòlica es paga segons la tarifa regulada a 7,8183 c€ (ITC/3801/2008, de 26 de Desembre).

Per als nostres càlculs considerarem un preu fix del kWh ja que no coneixem quina serà l'evolució dels preus de l'energia durant els pròxims anys. Així doncs, es prendrà el preu del kWh en vigència: 7,8183 c€.

L'estudi es realitzarà segons l'opció de cedir l'electricitat al sistema. S'ha descartat la venda d'electricitat al mercat de producció perquè per a estudiar aquesta opció cal conèixer la producció d'energia d'hora en hora durant, com a mínim un any.

Així durant el primer any de producció energètica s'adoptarà l'opció de cedir l'electricitat al sistema obtenint a canvi una tarifa regulada. Al cap de l'any es farà l'estudi pertinent per tal d'esbrinar si amb les produccions obtingudes durant l'any, hora a hora, ha resultat més avantatjosa aquesta tarifa o si cal canviar d'opció.

### 35. Càlculs econòmics

#### Inversió inicial

Pressupost de construcció micro-central eòlica = **211.689,59 €**

#### Ingressos anuals bruts

Si el parc eòlic produeix al cap de l'any 54520 kWh nets, i el preu fixat per a la venda de l'energia és de 7,8183 c€/kWh.

Així els ingressos bruts que n'obtidrem al cap de l'any:

$$\text{Ingressos bruts: } 54520 \text{ kWh/any} \cdot 7,8183 \text{ c€/kWh} \cdot \frac{1\text{€}}{100\text{c€}} = 4.262,53\text{€/any}$$

#### Despeses anuals d'explotació i servei

Despeses de manteniment = 9% · producció ..... 383,62 €/any

Despeses de gestió, administració i assegurances = 3% · producció ..... 127,87 €/any

Lloguer de terrenys = 2% · producció ..... 85,25 €/any

Programa de Vigilància Ambiental = 0,5% · producció ..... 21,31 €/any

**TOTAL** **618,05 €/any**

#### Ingressos anuals nets

Tenint en compte les despeses d'explotació i manteniment, els ingressos nets anuals sense tenir en compte els impostos seran:

$$\text{Ingressos anuals nets: } 4.262,53 \text{ €/any} - 618,05 \text{ €/any} = 3.644,48 \text{ €/any}$$

#### Anys necessaris per amortitzar la instal·lació sense finançament

Com no es coneix el tipus de finançament de què disposarà el parc, s'ha optat per al càlcul dels anys en que trigarà el parc, com a mínim, en ser rentable econòmicament.

$$\text{Amortització} = \frac{\text{Inversió inicial €}}{\text{Ingressos nets €}} = \frac{211.689,59 \text{ €}}{3.644,48 \text{ €/any}} = 58,08 \text{ anys}$$

Queda demostrat que la instal·lació no es rentable, ja que no surt a compte una inversió tant forta per recuperar en 58 anys, a més tenint en compte que la vida útil tant de l'aerogenerador com de les instal·lacions es molt inferior aquesta durada.

## Indicadors econòmics

$$\text{Cost del kWh instal} \cdot \text{lat} = \frac{\text{Cost instal} \cdot \text{lació (€)}}{\text{Potència instal} \cdot \text{lada (kW)}} = \frac{211.689,59}{30} = 7056,31\text{€/kWh}$$

$$\text{Índex energètic} = \frac{\text{Cost instal} \cdot \text{lació (€)}}{\text{Producció esperada(kWh/any)}} = \frac{211.689,59}{54520} = 3,8827\text{€} \cdot \text{any/kWh}$$

$$\text{Hores equivalents} = \frac{\text{Producció esperada(kWh/any)}}{\text{Potència instal} \cdot \text{lada (kW)}} = \frac{54520}{30} = 1817,33\text{h/any}$$

## 36. Ajudes públiques

### 36.1. Unió Europea

A nivell europeu, la Comissió Europea, i més concretament la Direcció General d'Energia i Transports, llança una convocatòria de propostes per a l'adjudicació de subvencions per a l'àmbit de l'energia dins el context del Programa per a la Recuperació de l'Energia (EEPR). Els àmbits d'aplicació son els següents:

- Captura i emmagatzematge de carbó.
- Infraestructures de connexions de gas i electricitat.
- Energia eòlica marina.

**La nostra instal·lació, per el fet de ser terrestre perd la possibilitat d'estar subvencionat a nivell Europeu.**

## 36.2. Govern Espanyol

A nivell estatal, des del Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç, les úniques ajudes que apareixen en matèria d'energies renovables són:

### Pla d'Energies renovables 2005-2010

Aquest pla es desenvolupa des del Institut de Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE). La forma de participació del Institut en els projectes depèn en cada cas del sector del que es tracti, de la tecnologia implicada i del volum econòmic.

Les formes de finançament es materialitzen segons les següents fórmules:

#### 36.2.1 Finançament per a Tercers (FPT)

Les característiques fonamentals d'aquest tipus de finançament són:

- L'IDAE participa a la definició del projecte.
- No es tracta d'un préstec ja que els equips són de propietat del IDAE fins que es recuperi la inversió.
- Un cop recuperada la inversió, la instal·lació passa a ser propietat del client. Es poden efectuar diferents formes contractuals per tal de portar-lo a terme:
- Cessió d'ús dels equips. Per a aquesta modalitat, la dimensió de les inversions es sol trobar entre els 300.000 € i els 3.000.000 € i el període de recuperació es situa entre els 4 i 8 anys.
- Compra venta amb pagament aplaçat. És una alternativa a l'anterior cessió d'ús. Aquesta és la modalitat més utilitzada per a projectes de generació elèctrica com ara mini centrals, petites instal·lacions eòliques, centrals alimentades amb biomassa i fotovoltaiques.

En conclusió, el finançament per a tercers està destinat a un volum d'inversió que es podria adaptar al nostre si ampliéssim la instal·lació. De totes formes caldria estudiar més a fons aquesta opció per a poder esbrinar si el nostre parc, si fos viable econòmicament és compatible amb aquest tipus de finançament.

#### 36.2.2 Finançament de Projecte i Arrendament de Serveis

Es tracta d'un model de col·laboració financera per el qual el IDAE, per una part, presta serveis d'assessorament i coordinació a totes les fases d'execució i explotació d'un projecte d'inversió i, per altra, el finança. Suposa la formalització de dos contractes: Contracte marc de cooperació i arrendament de serveis, i Contracte de finançament de projecte.

Aquest tipus de finançament va dirigit a projectes d'inversió en energies renovables, que disposin d'un anàlisis previ de viabilitat tècnic-econòmica.

Els avantatges d'aquest model són:

- L'esquema contractual permet l'adaptació dels contractes a les particularitats de cada projecte singular.
- La remuneració del IDAE en funció del rendiment energètic de la instal·lació permet modular al promotor els costos financers del projecte.
- Permet al promotor disposar del 100% del finançament de tots els costos d'inversió d'un projecte energètic, contant a més amb l'assessorament tècnic i l'experiència del IDAE.

A priori aquest és el tipus de finançament que més s'apropa a les característiques del projecte de parc eòlic. Si el nostre projecte comptés amb un anàlisi previ de viabilitat tècnic-econòmica favorable, ara caldria posar-se en contacte amb el IDAE per tal d'iniciar els tràmits necessaris per a l'obtenció de les avantatges d'aquest sistema.

### **36.2.3 Altres participacions financeres del IDAE**

Si cap de les anteriors modalitats es pogués aplicar per al projecte del parc eòlic, el IDAE recorre a la participació en diferents figures associatives. Així, depenent de la modalitat de participació seleccionada la participació del IDAE pot anar des de la total definició i finançament del projecte, fins a la seva participació minoritària en el capital social d'una societat executora del projecte.

Les diferents modalitats de participació existents son:

- Unió Temporal d'Empreses UTE.
- Agrupacions d'interès econòmic AIE.
- Participació en societats mercantils.
- Comptes de participació.
- Convenis de desenvolupament tecnològic.

## Conclusions

A nivell de rendibilitat, els resultats son molt negatius ja que el cost dels aerogeneradors van disminuint sensiblement amb el pas del tems, però la inversió econòmica necessària per equipar l'aeri amb un centre de transformació propi el fa del tot inviable.

La opció mes interessant per poder fer la micro-planta de generació eòlica rentable seria, la de combinar en una micro-planta hibrida de generació d'energia eòlica, uns panells fotovoltaics, que augmentessin la potencia generada total, aprofitant la capacitat del CT actual que permet ampliacions degut al seu sobredimensionat i a mes diversificant la dependència a la seva font d'energia. En aquest suposat cas passaria de dependre nomes de la velocitat del vent, a també de les hores de llum del sol que es una energia molt mes previsible.

Si en aquest cas l'estudi de viabilitat econòmica surtis favorable, podria mirar d'adaptar-se a algun dels ajuts Europeus descrits al projecte.

## Recomanacions

De cara a futurs treballs, es proposen diferents línies d'estudi, tal i com la utilització de Centrals híbrides, que convinen la energia eòlica amb la implantació de panells fotovoltaics.

Donat que d'aquesta manera podríem garantir un servei de energia elèctrica mes constant i no depenent tant de la variabilitat del vent.

No obstant, però pensem que es un sistema molt idoni i que tindríem que instal·lar, parcs de diferents potències per tal d'anar-nos conscienciant en l'ús de l'energia.



## Agraïments

Volem aprofitar la ocasió per agrair en primer lloc a les persones que ens han recolzat per continuar estudiant en moments difícils, als nostres amics de tota la vida, a les nostres parelles, als nostres companys de la UPC per fer més fàcil el dia a dia, als professors de l'EPSEVG per tot el que ens han ensenyat en aquets anys i al nostre tutor, Sr. Josep Font per l'assessorament.

## Bibliografia

### 1.- RECURSOS CONSULTATS EN XARXA:

1.1.- Institut Català d'Energia.  
(Normativa sobre Energia)

<http://www20.gencat.cat/portal/site/icaen>

1.2.- Generalitat de Catalunya  
(Mapa d'implantació ambiental de l'energia eòlica a Catalunya)

<http://www20.gencat.cat/portal/site/mediambient/menuitem.64be942b6641a1214e9cac3bb0c0e1a0/?vgnextoid=eec35d60ec108210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextchannel=eec35d60ec108210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextfmt=default>

1.3.- Institut Cartogràfic de Catalunya  
(Mapa topogràfic de Font-Rubí)

<http://www.icc.cat/>

1.4.- Estació meteorològica multifuncional

<http://www.quimisur.com/>

1.5.- Ormazabal

<http://www.ormazabal.es/>

1.6.- Schneider-electric

<http://www.schneider-electric.com/>

1.7.- Prysmian

<http://www.prysmian.es/>

1.8.- Voltimun

<http://www.voltimun.es/>

1.9.- Fecsa endesa

1.10.- Idae

<http://www.idae.es/>

1.11.- ABB

<http://www.abb.es/>

1.12.- Aeolos

<http://www.aeolos.es/>